



Escola de Camins
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

Comportament recent de la Punta del Fangar (Delta de l'Ebre)

Treball realitzat per:

Adrià Martínez Páez

Dirigit per:

Vicente Gracia Garcia

Grau en:

Enginyeria Civil

Barcelona, gener 2018

Departament d'Enginyeria Civil i Ambiental

TREBALL FINAL DE GRAU

Agraïments:

A Vicenç Gracia per ser un excel·lent tutor al llarg d'aquest treball.

A Xavier Querol Ribas del ICGC que va facilitar tota la informació sol·licitada per aquest treball.

A Pilar Gil de Puertos del Estado, per la seva atenció al facilitar les dades d'onatge.

A Manuel Garcia-Leon per l'ajuda amb el software GIS.

Comportament recent de la Punta del Fangar (Delta del Ebre)

Autor: Martínez Páez, Adrià

Tutor: Gracia Garcia, Vicente

Paraules clau: Delta de l'Ebre, Punta del Fangar, evolució de la costa, condicions d'onatge

El creixement de la Punta del Fangar ha reduït l'ample del canal entre la badia i el mar dificultant la renovació d'aigua, augmentant la probabilitat de períodes d'anòxia i augmentant el risc de mortaldat dels cultius de bivalves existents. L'objectiu principal del treball és caracteritzar el moviment de la fletxa i la badia en els darrers anys i relacionar aquest comportament amb el clima d'onatge i les variacions del nivell mig del mar. Aquest model evolutiu s'utilitzarà per determinar el comportament de la fletxa en diferents escenaris de canvi climàtic en estudis posteriors.

Comportamiento reciente de la Punta del Fangar (Delta del Ebro)

Autor: Martínez Páez, Adrià

Tutor: Gracia Garcia, Vicente

Palabras clave: Delta del Ebro, Punta del Fangar, evolución de la costa, condiciones de oleaje

El crecimiento de la Punta del Fangar ha reducido el ancho del canal entre la bahía y el mar dificultando la renovación de agua, aumentando la probabilidad de períodos de anoxia y aumentando el riesgo de mortalidad de los cultivos de bivalvos existentes. El objetivo principal del trabajo es caracterizar el movimiento de la flecha y la bahía en los últimos años y relacionar este comportamiento con el clima del oleaje y las variaciones del nivel medio del mar. Este modelo evolutivo se utilizará para determinar el comportamiento de la flecha en diferentes escenarios de cambio climático en estudios posteriores.

Índex

1. INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS.....	1
1.1. Introducció.....	1
1.2. Objectius.....	1
2. MÈTODE.....	2
2.1. Informació disponible.....	2
2.1.1. Imatges ortofotomètriques.....	2
2.1.2. Dades hidrodinàmiques.....	3
2.1.3. Visita de camp.....	3
2.1.4. Consulta d'actuacions a la costa.....	8
2.2. Caracterització de la línia de costa.....	9
2.2.1. Digitalització de la costa.....	9
2.2.2. Error associat a la digitalització.....	9
2.2.3 Mètode d'anàlisi (DSAS).....	9
2.3. Caracterització dels agents impulsors.....	11
2.3.1. Series temporals d'onatge.....	11
2.3.2. Series temporals del nivell mig del mar.....	13
3. RESULTATS.....	14
3.1. Evolució de la costa a mig termini.....	14
3.1.1. Platja de l'arenal.....	14
3.1.1.1. Elements morfològics distintius.....	15
3.1.1.1.1. Període 1956-2017.....	16
3.1.1.1.2. Període 1956-2004.....	17
3.1.1.1.3. Període 2004-2017.....	18
3.1.1.1.4. Període 2007-2017.....	19
3.1.2. Far-Fangar.....	21
3.1.2.1. Elements morfològics distintius.....	22
3.1.2.1.1. Període 1956-2017.....	23
3.1.2.1.2. Període 1956-2004.....	24
3.1.2.1.3. Període 2004-2017.....	25
3.1.2.1.4. Període 2007-2017.....	26
3.2. Balanç sedimentari i esquema de transport.....	27
3.2.1. Platja de l'Arenal.....	27
3.2.1.1. Període 1956-2017.....	28
3.2.1.2. Període 1956-2004.....	29
3.2.1.3. Període 2004-2017.....	30
3.2.1.4. Període 2007-2017.....	31
3.2.2. Far-Fangar.....	32
3.2.2.1. Període 1956-2017.....	34
3.2.2.2. Període 1956-2004.....	35
3.2.2.3. Període 2004-2017.....	37
3.2.2.4. Període 2007-2017.....	38
3.3. Episodis d'alta energia i nivell del mar.....	40
3.3.1. Episodis d'alta energia.....	40
3.3.2. Nivell del mar.....	42
4. CONCLUSIONS.....	43
5. BIBLIOGRAFIA.....	44
Annex 1. Línies de costa	
Annex 2. Transsectes de càlcul	
Annex 3. Evolució de la línia de costa	
Annex 4. Dades d'onatge	

1. INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS

1.1. Introducció

El creixement de la Punta del Fangar ha reduït l'ample de canal entre la badia i el mar dificultant la renovació d'aigua, augmentant la probabilitat de períodes d'anòxia i augmentat el risc de mortaldat dels cultius de bivalves existents a la zona. Aquest cultius són un motor econòmic important de la zona i uns dels cultius d'ostres més importants d'Europa.

Aquests moviments de la Punta del Fangar seran l'objecte d'estudi d'aquest treball, veurem l'evolució de la Punta en un període que compren els últims 65 anys, dividits en diferents períodes. També s'analitzaran les dades d'onatge i el nivell del mar durant el mateix període de temps.

Per poder realitzar l'estudi d'aquest moviments en aquest treball s'han distingit dues zones, la zona de la Platja de l'Arenal i la zona del Far-Fangar. La primera correspon a la zona entre el municipi de l'Ampolla i el Port d'Illa de Mar. La segona zona correspon al que es conegut com a Punta del Fangar.

1.2. Objectius

L'objectiu principal del treball serà analitzar els moviments de la Punta del Fangar dels últims 65 anys i comparar-los amb les condicions de l'onatge i el nivell del mar per intentar trobar una relació entre els mateixos. Amb aquestes dades s'espera que es pugui crear un model evolutiu que s'utilitzarà per determinar el comportament de la fletxa en diferents escenaris de canvi climàtic i condicions d'onatge.

2. MÉTODE

Amb l'objectiu d'analitzar el comportament de la línia de costa el primer que em de fer es obtenir les ortofotos de la zona per poder digitalitzar la línia de costa. Per obtenir-les s'ha contactat amb el Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya el qual va proporcionar els ortofotomapes de la zona.

A partir dels ortofotomapes podem digitalitzar la línia de la costa utilitzant l'ArcMap. Un cop digitalitzada podem analitzar la tendència que segueix la mateixa utilitzant el DSAS. Posteriorment amb unes hipòtesis de fondària i berma actives podem calcular els volums de sorra que es mouen a la línia de costa. Finalment amb els volums podem fer un balanç del sediment i un esquema de transport del mateix.

La metodologia explicada anteriorment es pot veure resumida en el Diagrama 1.

Un cop vist el que fa el sediment podem analitzar les condicions climàtiques d'onatge i nivell del mar.

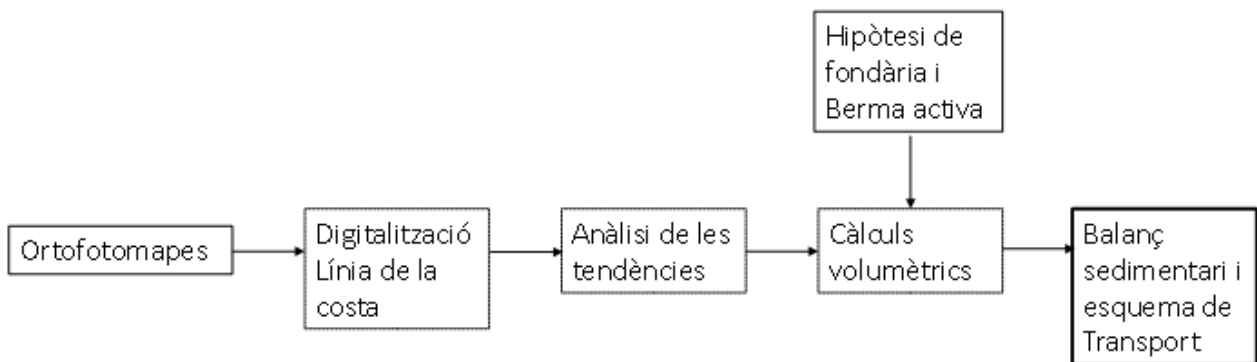


Diagrama 1: Diagrama de flux amb el procediment seguit en aquest treball

2.1. Informació disponible

La informació disponible per a la realització del treball prové bàsicament de dues fonts: l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya i Puertos del Estado. La informació obtinguda de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya han estat els ortofotomapes utilitzats per a la digitalització de la costa i la informació proporcionada per Puertos del Estado es la relacionada amb les condicions de l'onatge i nivell del mar obtinguda a partir de les dades del mareògraf de Tarragona i les boies de Tarragona.

2.1.1. Imatges ortofotomètriques

Les dades proporcionades per l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya van ser els següents ortofotomapes: 1983, 1994, 2004 i el període comprés entre 2007 i 2015 any a any. Els anys 1956, 2016 i 2017 es van obtenir directament del servidor del ICGC. Malauradament no podem saber la data exacte dels vols, ja que els ortofotomapes son un conjunt de diferents vols durant l'any per tant assumirem que els vols es van realitzar el dia 1 de juliol a tots els anys, ja que necessitem una data pel DSAS i en cas de desconèixer-la es recomana fer servir aquesta.

Els ortofotomapes estan a una escala 1:5000 i com que venien amb diferents projeccions, ja que son d'èpoques diverses el primer que s'ha fet és projectar-los tots al utilitzat actualment, o sigui el ETRS_1989_ETRS-TM31 que també correspon al fus utilitzat a Catalunya.

2.1.2. Dades hidrodinàmiques

Les dades hidrodinàmiques proporcionades per Puertos del Estado han estat les dades d'onatge i nivell del mar recollides per les boies de Tarragona (REDCOS, REDEXT) i el mareògraf de Tarragona.

A l'Annex 4. Dades d'onatge podem trobar les dades proporcionades per Puertos del Estado a la carpeta *Dades Puertos del Estado*.

2.1.3. Visita de camp

El dia 31 d'Octubre de 2017 es va realitzar una visita al camp per observar la línia de costa i tenir una idea de l'altimetria de la zona i els diferents elements que no podem apreciar a una ortofoto, com el tipus de sorra, i els elements que costen distingir a una ortofoto, com zones inundables.

Es va començar a la zona on hi ha situat el restaurant Els Vascos on es pot observar que s'ha construït una escullera per tal de protegir els propi restaurant i que com podem observar a la Fotografia 1 s'està veient envolta pel mar no només pel flanc que es veu a la fotografia sinó per tots dos flancs. Notem també com la pròpia escullera produeix un efecte sobre la línia de costa accentuant l'erosió de la mateixa als seus dos extrems.



Fotografia 1: Flanc esquerra de l'escullera que protegeix el restaurant Els Vascos.

Es va després començar a caminar direcció a la punta i es podia apreciar com era una zona d'interès mediambiental ja que era una zona de nidació d'aus. Seguint amb la línia de costa a la Fotografia 2 es pot veure clarament com la zona interior del Far-Fangar es tracta de una zona molt plana i per tant el nivell del mar en el moment del vol pot influir molt en la percepció de la línia de costa, cosa que es veu clarament en l'extensió de la zona d'humit en el moment de la fotografia que pot indicar una pujada del nivell del mar recent.



Fotografia 2: Part interior del Far-Fangar

També es van veure elements que indiquen una actuació humana per crear camps de dunes on fins i tot com es veu a la Fotografia 3 es va construir un petit edifici, ara ja abandonat, on s'aprecia clarament com el transport aeri de sorra pot ser també important.



Fotografia 3: Edifici a la zona interna del Far-Fangar.

Un cop arribats gairebé a la punta es podien veure unes llengües de sorra que corresponen al mecanisme de creixement de la zona de la punta on les barres son arrossegades fins que assoleixen la costa. A la Fotografia 4 podem veure aquestes llengües de sorra mencionades anteriorment, tot i que als ortofotomapes son més fàcils de distingir.



Fotografia 4: Llengües de sorra a la zona de la punta.

També es va notar com una zona del Far-Fangar queda resguardada per les muntanyes de la costa, aquesta zona coincideix amb una zona d'acumulació de sediment. A la Fotografia 5 podem veure les muntanyes mencionades anteriorment i com la zona a partir del far queda resguardada per elles.



Fotografia 5: Zona del Far amb les muntanyes de Perelló-Mar al fons.

Després es va anar a la Platja de l'Arenal per veure com era la línia de costa allà. Es va començar al municipi de l'Ampolla i es va seguir la línia de costa fins a Lo Goleró. A la Fotografia 6 podem veure la primera zona més propera al municipi de l'Ampolla i com es tracta de una platja de sorra més similar a qualsevol platja de la Costa Daurada. En canvi un cop passada la Bassa de les Olles ens trobem el paisatge de la Fotografia 7 que com podem veure es una zona amb molta més vegetació gairebé sense sorra.



Fotografia 6: Platja de l'Arenal situada al sud del municipi de l'Ampolla.



Fotografia 7: Zona de costa situada al sud de la Bassa de les Olles.

2.1.4. Consulta d'actuacions a la costa

Es va entrevistar a la regidora de l'Àrea de Turisme i Territori, la Sra. Meritxell Jordi Llambrich i es va poder confirmar que a la platja de l'Arenal es realitzen alimentacions de sorra des de fa anys. No es van poder saber els volums de les aportacions ni el tipus de sorra utilitzada.

2.2. Caracterització de la línia de costa

A partir dels ortofotomapes procedim a digitalitzar i analitzar el comportament de la costa amb les eines GIS i el DSAS.

2.2.1. Digitalització de la costa

A través de les ortofotos proporcionades per l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya hem de procedir a definir la nostra línia de costa. El mètode utilitzat per definir-la ha estat el recomanat pel DSAS, que consisteix en fer servir la línia mitja de la zona d'humit. La zona d'humit es aquella àrea entre el màxim retrocés de l'onatge i el màxim desplaçament cap a la costa. A l'Annex 1. Línies de costa podem trobar les línies de costa digitalitzades en format shapefile o visualitzar-les en pdf.

Els programes utilitzats per fer-ho han estat les eines del ArcGis; ArcMap i ArcCatalog.



Captura 1: Detall de la línia de costa digitalitzada al ArcMap.

2.2.2. Error associat a la digitalització

Segons el mètode explicat anteriorment es pot deduir que no és un procés exacte, ja que depèn de les condicions del nivell del mar i onatge en el moment de la fotografia i del propi criteri humà alhora de decidir per on traçar exactament la línia.

Podem trobar exemples de zones molt planes on un increment de pocs centímetres pot arribar a inundar unes quantes desenes de metres de platja i que es veuen molt clarament tant als canvis als ortofotomapes com al propi lloc in-situ si hi ha hagut un increment recent del nivell del mar, com es va veure a la visita de camp i es pot apreciar a la Fotografia 2.

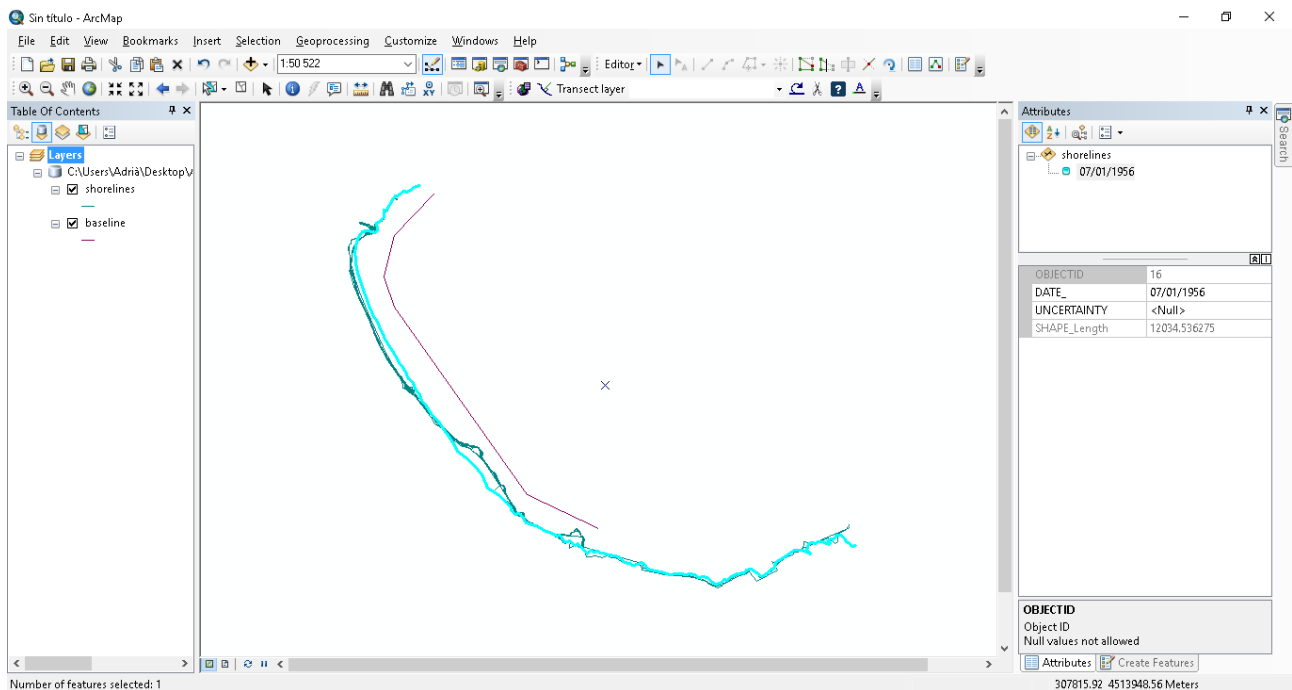
2.2.3 Mètode d'anàlisi (DSAS)

El programa utilitzat per analitzar els moviments de la costa ha estat el DSAS, amb el qual podem obtenir la distància entre línies de costa i les tasses d'erosió/creixement a partir de les línies de costa definint una baseline que ens permet crear transsectes pels càlculs.

Primer de tot s'ha de crear una geodatabase personal amb les línies de costa en un sol element, a cada línia de costa se l'hi ha d'assignar una data concreta i com s'ha mencionat anteriorment al no saber la data exacta dels vols s'ha fet servir el dia u de Juliol de l'any corresponent a l'ortofotomapa.

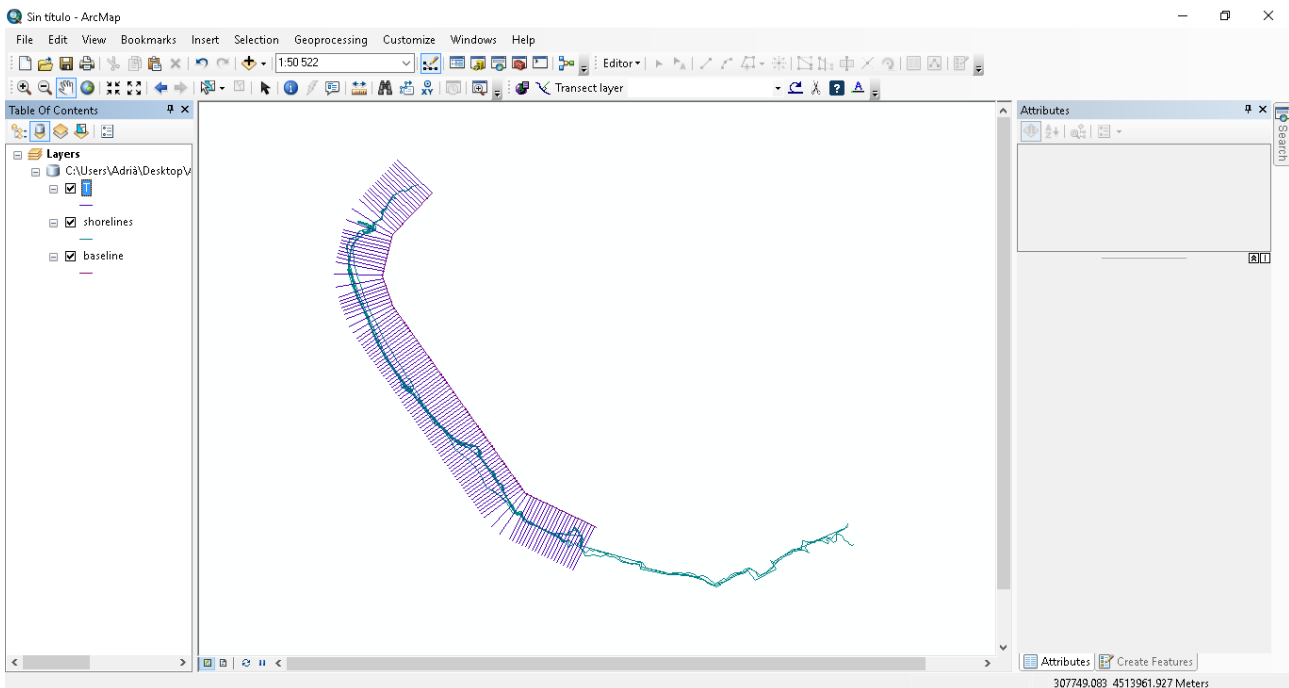
Fem aquest procés per a 4 períodes diferents; un període que inclou tots els anys 1956-2017, un altre que recull el període inicial de 1956-2004, un període amb tots els anys d'aquest segle, on es pot suposar que ha estat el període en el qual s'han portat a terme la majoria d'actuacions humanes, que comprèn els anys de 2004-2017 i un últim període que inclou només els anys que es té informació any a any de 2007-2017.

Procedim després a definir la baseline, la qual s'ha escollit que sigui sempre offshore, ja que facilita utilitzar el màxim nombre de interseccions amb les línies de costa de diferents anys tant per la zona de la platja de l'Arenal com per la zona del Far-Fangar. A la Captura 2 podem veure les línies de costa pel període 1956-2017 a la platja de l'Arenal i la baseline utilitzada, notem a atributs com s'ha definit la data del mètode mencionat anteriorment i com el paràmetre uncertainty s'ha deixat com a null i s'ha utilitzat un predeterminat de 5m pels càlculs del DSAS



Captura 2: Finestra d'ArcMap amb les línies de costa de l'Arenal i la baseline utilitzada pel període de 1956-2017.

Un cop definida la baseline podem crear els transsectes amb el DSAS, s'ha utilitzat una separació de 50 m entre transsectes i una longitud del transsecte que depèn de la zona ja que s'ha ajustat per intentar incloure el màxim nombre de interseccions per transsecte. A la Captura 3 podem veure una finestra d'ArcMap amb les línies de costa, la baseline i els transsectes de la platja de l'Arenal al període de 1956-2017.



Captura 3: Finestra d'ArcMap amb les línies de costa, la baseline i els transsectes de l'Arenal pel període 1956-2017.

Un cop definit els transsectes podem realitzar els càlculs amb el DSAS per obtenir la distància que s'ha desplaçat la línia de costa i les tasses pels diferents períodes. A l'Annex 2. Transsectes de càlcul es poden veure tots els resultats dels càlculs a partir dels transsectes obtingut amb el DSAS en un full de càlcul i es poden trobar les geodatabases personals que s'han utilitzat pels càlculs.

2.3. Caracterització dels agents impulsors

A partir de les dades obtingudes del mareògraf de Tarragona i la boia de Tarragona proporcionades per Puertos del Estado, que trobem a l'Annex 4. Dades d'onatge, podem representar gràficament amb Matlab les característiques de l'onatge i el nivell del mar i identificar períodes d'alta energia.

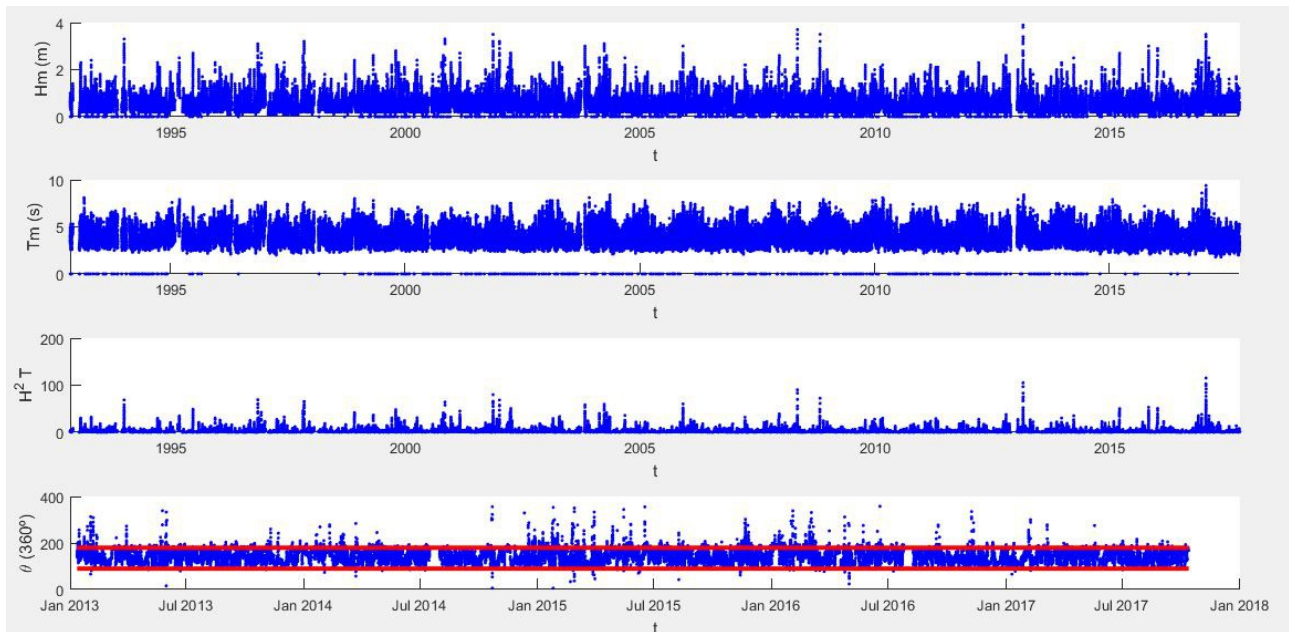
2.3.1. Series temporals d'onatge

Per les dades d'onatge farem servir les dades obtingudes de les boies de Tarragona, analitzarem l'alçada mitja, el període, l'energia ($H^2 \cdot T$) i la direcció del onatge.

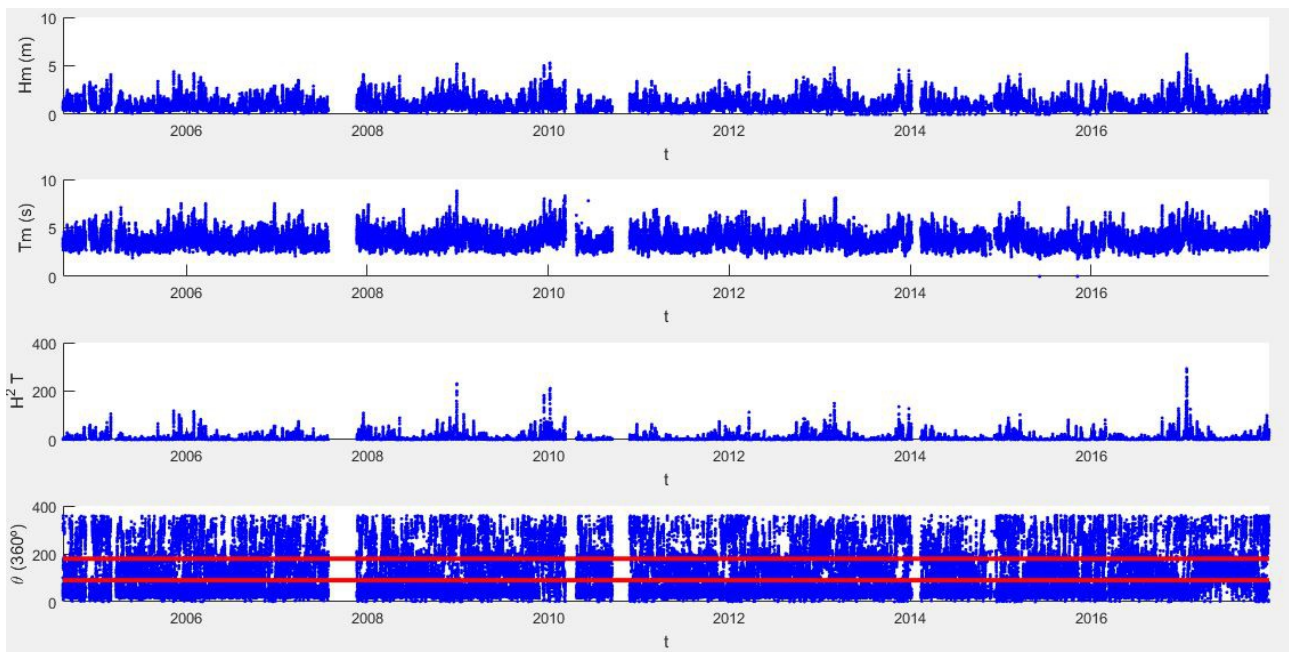
S'han creat uns scripts de Matlab per poder fer aquest anàlisi, els scripts de Matlab es troben a l'Annex 4. Dades d'onatge, el script per la boia de REDCOST és *OnatgeCost.m* i el script per la boia de REDEXT és *OnatgeExt.m*.

A partir de les matrius de dades d'onatge obtingudes pels scripts mencionats anteriorment podem caracteritzar les condicions d'onatge i detectar episodis de màxima energia, com veurem a l'apartat 3.3. Episodis d'alta energia i nivell del mar.

A la Il·lustració 1 podem veure la gràfica de dispersió per les condicions d'onatge per la boia de Tarragona REDCOS i a la Il·lustració 2 la de la boia de Tarragona REDEXT. Les línies vermelles del tercer subplot indiquen la franja Est-Sud que és d'on provenen la majoria d'ones i són les principals impulsores dels moviments a la zona del Far-Fangar.



Il·lustració 1: Gràfiques de dispersió per les condicions d'onatge REDCOS.



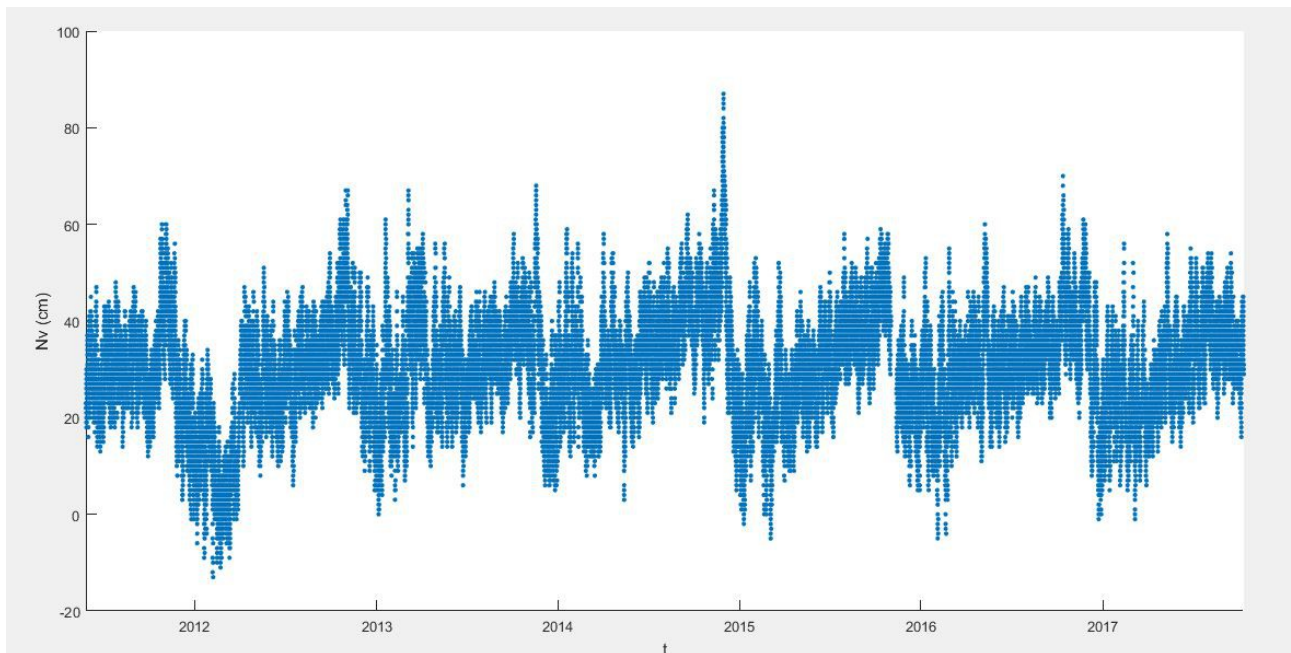
Il·lustració 2: Gràfiques de dispersió per les condicions d'onatge REDEXT.

2.3.2. Series temporals del nivell mig del mar

Per obtenir la dispersió de les dades temporals del nivell del mar utilitzarem les dades proporcionades pel mareògraf de Tarragona. Les dades van des de gener de 2003 fins a l'actualitat.

S'ha creat un altre script de Matlab, que podem veure a l'Annex 4. Dades d'onatge amb el nom *NivellMar.m*, per poder representar la dispersió de les dades del nivell del mar obtingudes pel mareògraf.

L'anàlisi del nivell mig del mar es pot veure a la Il·lustració 3. Notem un gran increment a l'any 2014 que pot correspondre amb un gran desplaçament a la zona interna que es pot veure als ortofotomapes.



Il·lustració 3: Gràfica de dispersió del nivell mig del mar.

3. RESULTATS

A partir de les dades obtingudes podem representar gràficament les tasses sobre l'ortofotomapa i fer el balanç sedimentari a partir de un esquema de caixes.

Per representar gràficament les tasses definirem diferents rangs de tasses per poder incloure zones de costa que tenen un comportament similar. Això ens ajudarà també per crear el balanç sedimentari, ja que podem utilitzar la tasa mitja de les zones que queden definides pels rangs de tasses i definir caixes per a zones amb un comportament determinat.

3.1. Evolució de la costa a mig termini

Gracies a les tasses obtingudes prèviament amb el DSAS, podem assignar-les als transsectes i representar gràficament les tasses sobre el ortofotomapa per així fer-nos una idea de com és la dinàmica costera i diferenciar diferents zones amb tendències comuns. Les tasses utilitzades han estat les obtingudes amb el mètode de regressió lineal del DSAS (LRR).

A l'Annex 3. Evolució de la línia de costa podem trobar els pdf amb la representació gràfica de les tasses sobre l'ortofotomapa de la zona als quals ens referirem en apartats posteriors.

3.1.1. Platja de l'arenal

A la platja de l'Arenal, situada entre el municipi de l'Ampolla i el port de l'Illa de Mar, es tracta de un tram de costa lineal i per tant és senzill utilitzar els mètodes de càlcul del DSAS. Podrem veure com sempre hi ha una zona a la platja de l'Arenal en el municipi de l'Ampolla amb tasses erosives, mentre que hi ha una creació de costa a la zona de Lo Goleró.

3.1.1.1. Elements morfològics distintius

La zona d'estudi té diferents elements morfològics que afecten a la línia de la costa, a continuació situarem i veurem aquest elements.

L'element número 1 de la Il·lustració 4 es tracta de la Bassa de les Olles, un entorn amb gran diversitat d'aus i d'interès mediambiental. L'element número 2 de la Il·lustració 4 és conegut amb el nom de Lo Goleró que correspon amb la zona on es veu un increment de la línia de costa i que té un restaurant homònim situat al mateix. L'element 3 és el port d'Illa de Mar. L'element número 4 situat entre la Bassa de les Olles i Lo Goleró és la Gola de la Bassa Roja. Notem que la Bassa de les Olles, la Gola de la Bassa Roja i Lo Goleró són elements que tenen una connexió terra-mar d'aigua que interromp la línia de la costa. El port és l'element a partir del qual s'ha assumit que el transport a la línia de la costa és zero, ja que no es veu cap canvi en els ortofotomapes i assumim que el sediment queda atrapat a causa del port.

Podem veure com la zona des de la Gola de la Bassa Roja fins a l'inici de la part del Far-Fangar queda resguardada de les condicions d'onatge gracies a la pròpia punta. A la Il·lustració 4 es veu la rosa d'onatge, obtinguda amb la informació de Puertos del Estado a la boia de Tarragona, pel període de 2004-2017, podem veure com la punta bloquejaria la majoria d'ones de les direccions principals d'onatge.



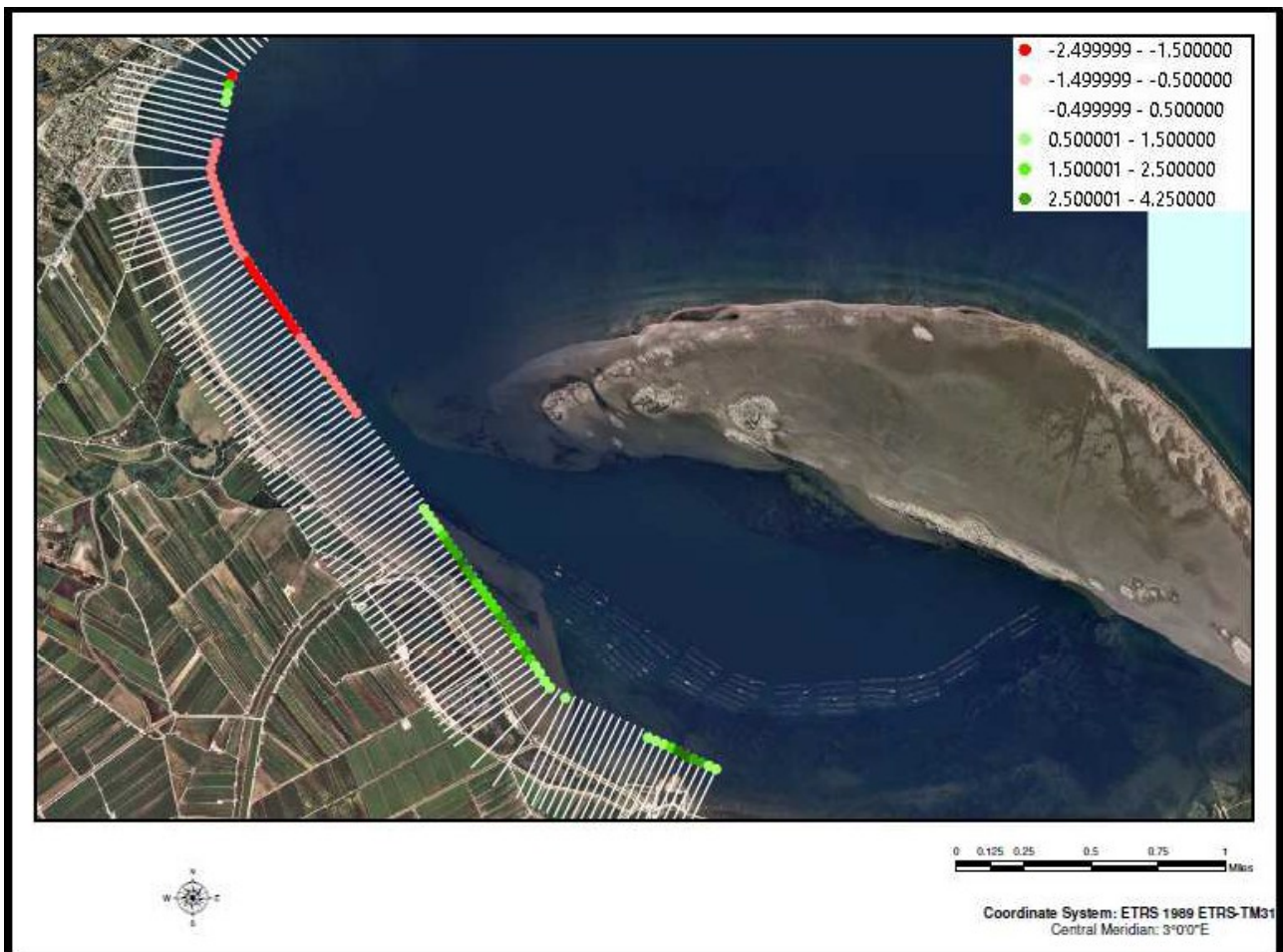
Il·lustració 4: Localització dels elements morfològics distintius sobre l'ortofotomapa de 2015 i rosa d'onatge pel període 2004-2017.

3.1.1.1.1. Període 1956-2017

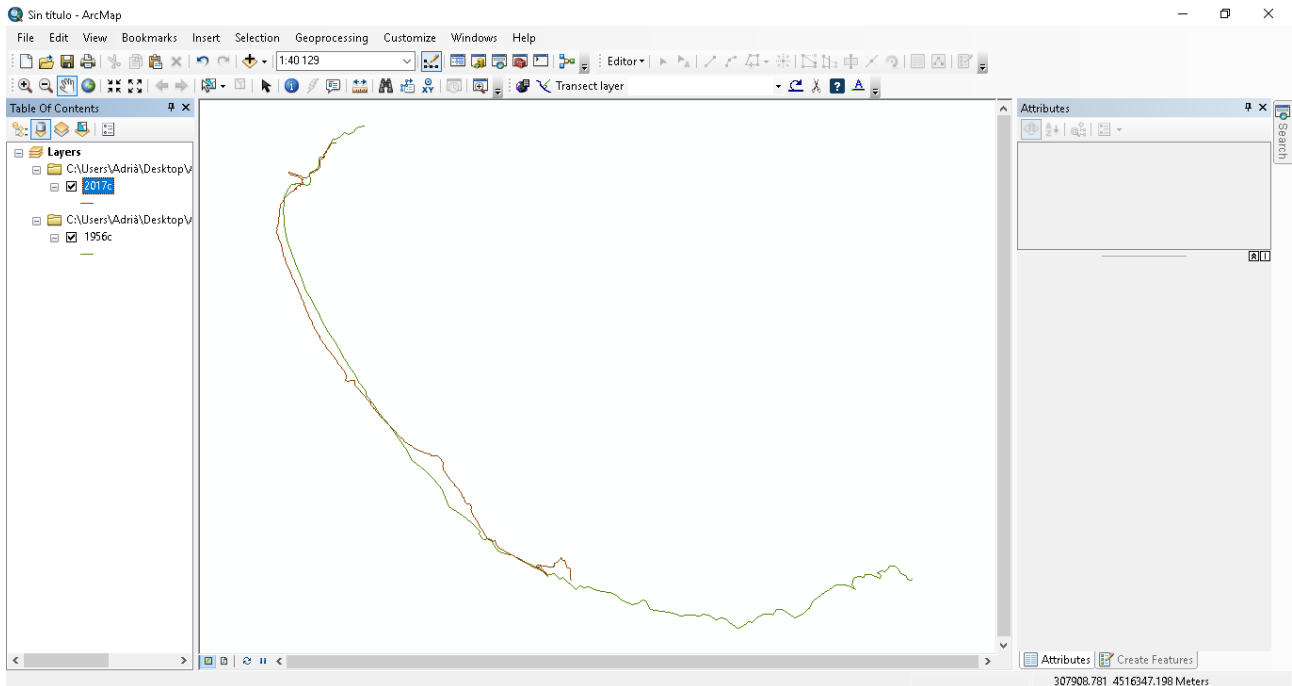
Ens referirem a la Il·lustració 5 per analitzar aquest període. Podem trobar les imatges en més qualitat al pdf 1956-2017. *Platja de l'Arenal* de l'Annex 3. Evolució de la línia de costa així com els arxius d'ArcMap.

En aquest període podem identificar dues zones importants, una d'erosió i una d'acumulació, entre les quals hi ha una zona de transició. La zona d'erosió correspon principalment a la zona de platja que es troba al sud del municipi de l'Ampolla i par de la platja del propi municipi, notem que té una extensió bastant important sobretot quan es compara amb períodes més recents que veurem posteriorment. La zona d'acumulació entre la zona de la Gola de la Bassa Roja i Lo Goleró de fet podem veure clarament un gran avanç de la línia de costa a la Captura 4 per aquest període.

Aquest període, al ser tant extens, ens dona una idea general de quina tendència hi ha hagut en el temps a la morfologia costera ja que l'acció humana dels últims anys queda difuminada.



Il·lustració 5: Representació gràfica de les tasses a la Platja de l'Arenal pel període 1956-2017 sobre l'ortofotomapa de 2015.



Captura 4: Captura de Matlab on podem veure la línia de costa de 1956, en verd, i la línia de costa de 2017, en vermell.

3.1.1.1.2. Període 1956-2004

Ens referirem a la Il·lustració 6 per analitzar aquest període. Podem trobar les imatges en més qualitat al pdf *1956-2004. Platja de l'Arenal de l'Annex 3*. Evolució de la línia de costa així com els arxius d'ArcMap.

Notem que la zona d'erosió es més extensa i amb tasses d'erosió més grans que en el període d'anàlisi anterior. La zona d'acumulació es concentra a la zona de Lo Goleró, també les tasses d'acumulació en aquesta zona són més grans que en el període que comprèn tots els anys d'anàlisi. El fet de que les tasses siguin majors en aquest període pot ser degut a que s'han suprimit els anys que comprenen la majoria d'accions humanes i reflecteix un comportament més propi de la zona sense cap tipus d'intervenció. No podem afirmar que això sigui cert, ja que la quantitat d'ortofotomapes que tenim per aquest període és més limitada i per tant un nivell del mar no normal en el moment de la ortofoto té un impacte molt més gran que quan s'inclouen els últims anys dels qual tenim informació any a any.

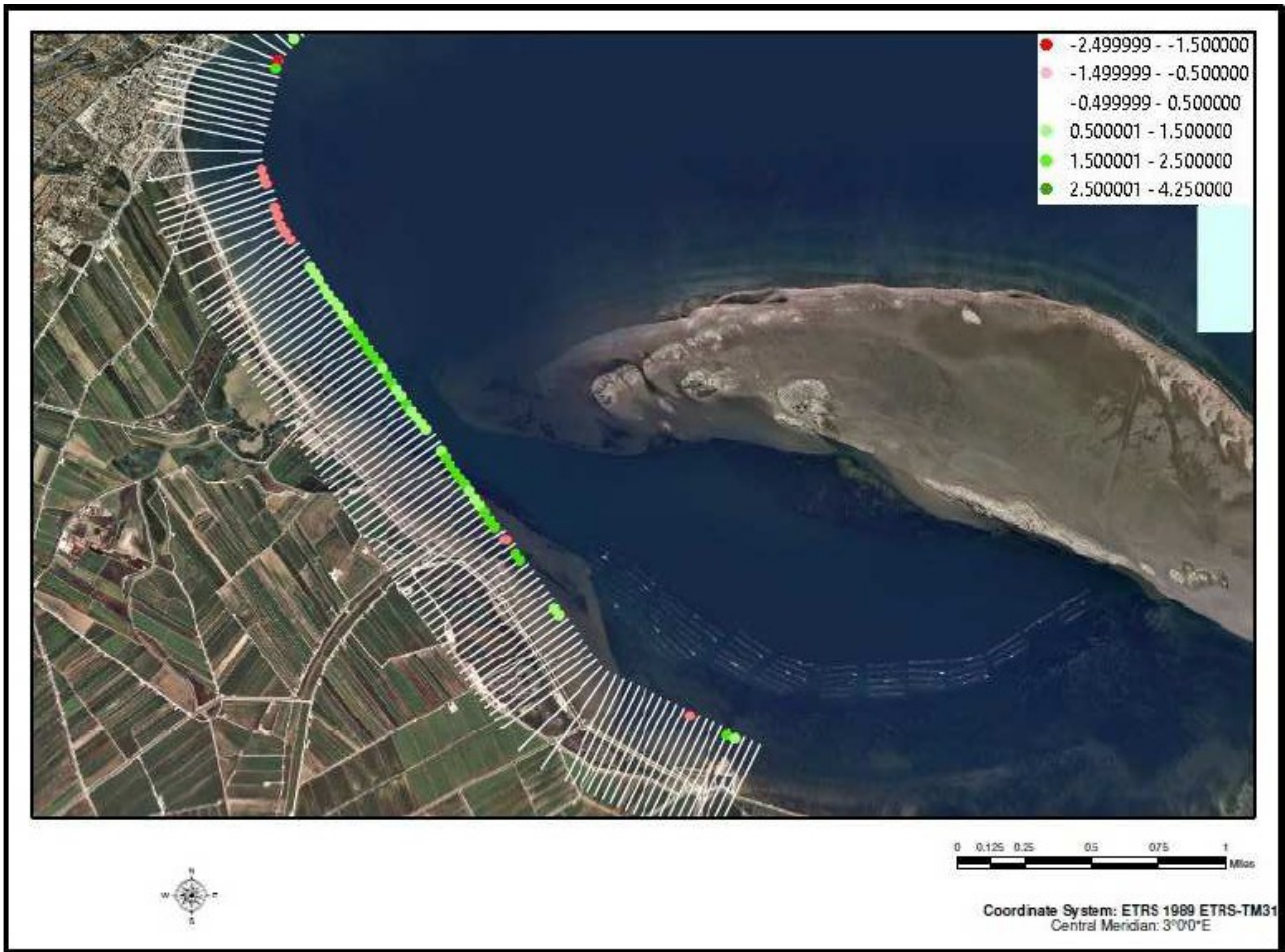


Il·lustració 6: Representació gràfica de les tasses a la Platja de l'Arenal pel període 1956-2004 sobre l'ortofotomapa de 2004.

3.1.1.1.3. Període 2004-2017

Ens referirem a la Il·lustració 7 per analitzar aquest període. Podem trobar les imatges en més qualitat al pdf *2004-2017. Platja de l'Arenal* de l'Annex 3. Evolució de la línia de costa així com els arxius d'ArcMap.

En aquest període la zona d'erosió té una extensió molt reduïda, només ocupa la zona de la platja de l'Arenal més propera al municipi de l'Ampolla i les tasses són molt petites comparades amb el període anterior. En aquest període es reflecteixen les alimentacions realitzades durant els últims anys, sembla que frenen el procés d'erosió mantenint la costa. Notem en canvi que la zona d'acumulació és molt més extensa, comença abans de la Gola de la Bassa Roja fins a Lo Goleró, tot i que les tasses també són més petites que en el període anterior. Aquest canvi en el comportament pot ser degut a que a les aportacions no s'hauria utilitzat el mateix sediment que l'existent a la zona prèviament.

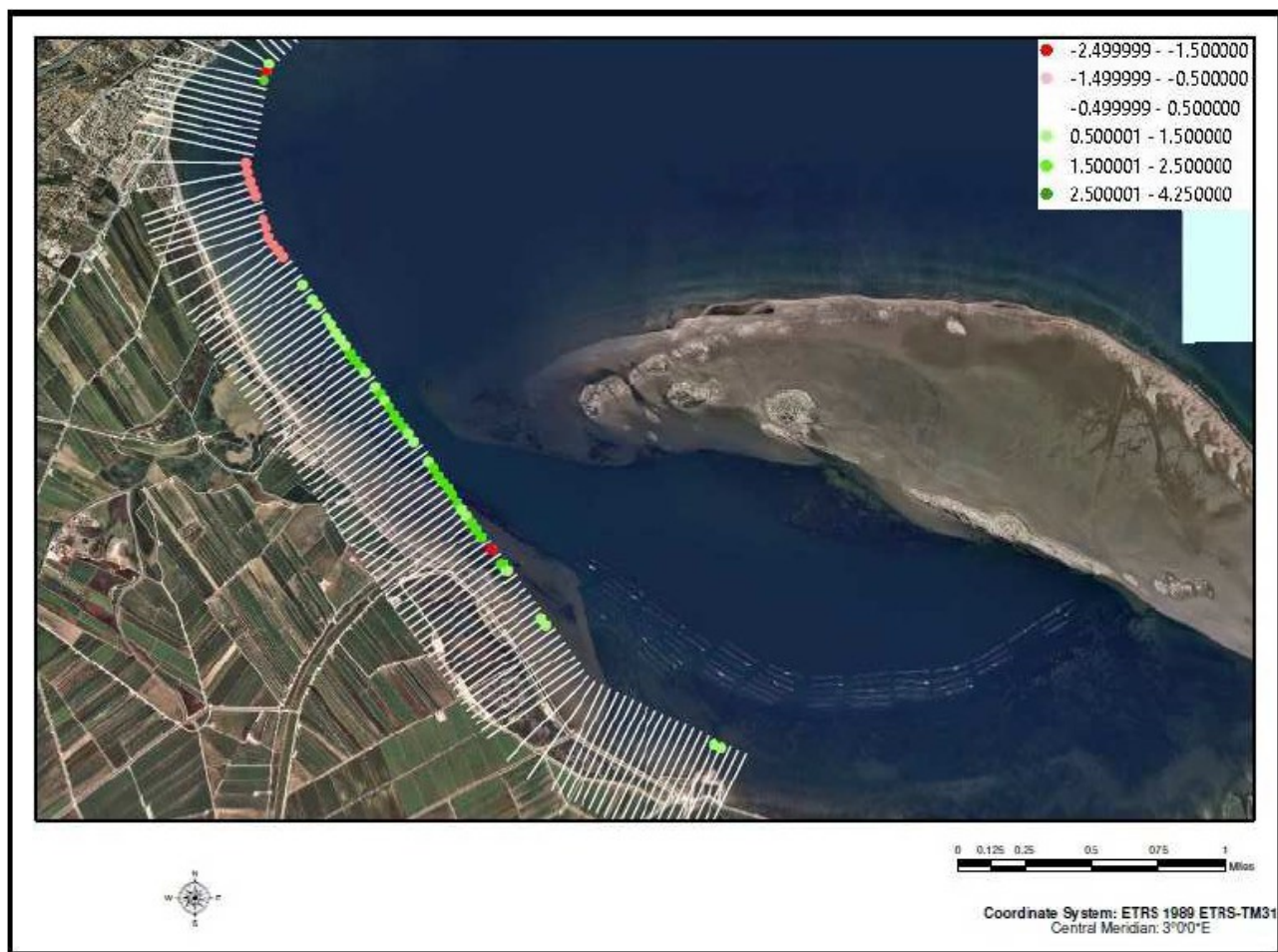


Il·lustració 7: Representació gràfica de les tasses a la Platja de l'Arenal pel període 2004-2017 sobre l'ortofotomapa de 2015.

3.1.1.1.4. Període 2007-2017

Ens referirem a la Il·lustració 8 per analitzar aquest període. Podem trobar les imatges en més qualitat al pdf *2007-2017. Platja de l'Arenal* de l'Annex 3. Evolució de la línia de costa així com els arxius d'ArcMap.

Com podem veure aquest període es molt similar al analitzat anteriorment, ja que només hi ha un ortofotomapa no considerat en aquest cas respecte l'anterior, l'única diferència notable és que la zona d'erosió sembla una mica més extensa que al període anterior. Aquest fet pot ser degut a que l'any 2004 es dugues a terme una alimentació de la platja i es realitza el vol posteriorment a la mateixa o que les condicions climàtiques del vol van influenciar més del usual.

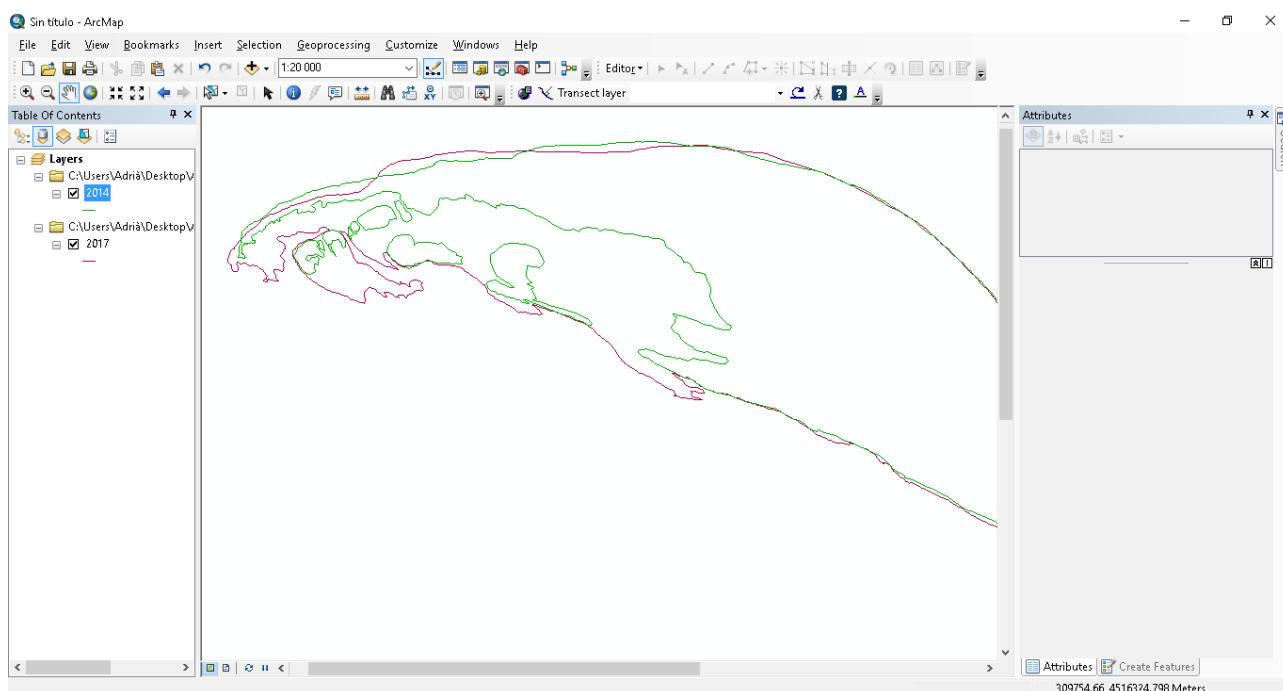


Il·lustració 8: Representació gràfica de les tasses a la Platja de l'Arenal pel període 2007-2017 sobre l'ortofotomapa de 2015.

3.1.2. Far-Fangar

Analitzarem la zona de la Punta del Fangar, com s'ha dit anteriorment al apartat 2.1.3. Visita de camp notem que la zona interior es molt dependent del nivell del mar i és difícil caracteritzar la costa a partir dels ortofotomapes. A la Captura 5 podem apreciar com la zona interna varia molt en un any on el nivell del mar era alt durant el vol (línia verda corresponent a la morfologia del any 2014) comparat amb les condicions més comuns durant els altres vols (línia vermella corresponent a la morfologia del any 2017). Podem notar com es formen illots degut a aquesta zona més plana fàcilment inundable. Per aquest motiu i donat a que la zona de la punta és molt difícil de caracteritzar i varia en forma i no només amb retrocés i avanç de costa, l'única zona que s'ha pogut caracteritzar utilitzant les tasses del DSAS ha estat la zona del front superior a mar obert.

La tendència general és una gran zona d'erosió on l'erosió és major quan més ens apropem a la zona del restaurant Els Vascos i una zona d'acumulació més propera a la punta amb majors tasses com més a prop de la punta ens trobem segurament deguda a les muntanyes que fan que quedi resguardada de les ones provenint del Nord com s'ha mencionat al apartat 2.1.3. Visita de camp. Notarem com la tendència erosiva es major als últims anys i l'acumulació de sediment és més important al període inicial.



Captura 5: Finestra d'ArcMap que mostra les línies de costa de 2014, en verd, i 2017, en vermell.

3.1.2.1. Elements morfològics distintius

La zona presenta certs elements que impacten la morfologia de la línia de costa, a continuació mencionarem els més importants.

L'element 1 de la Il·lustració 9 es tracta del Restaurant els Vascos, en el qual s'ha construït una escullera per protegir el mateix, com es veu a Fotografia 1 de l'apartat 2.1.3. Visita de camp, i accentua l'erosió de la zona propera a l'escullera, ja que es troba a la zona erosiva de la línia de costa com veurem posteriorment. L'element 2 és la zona inundable que s'ha mencionat amb anterioritat i que no ens permet utilitzar el DSAS ja que no podem obtenir uns resultats fiables. L'element número 3 es tracta de l'explotació d'ostres de la zona que s'està veient afectada pels moviments de la Punta del Fangar.

La zona de la punta a la part esquerra del far és la que queda protegida per les muntanyes de Perelló-Mar tal i com es veu a la Fotografia 5 de l'apartat 2.1.3. Visita de camp, notarem com aquesta zona correspon a la zona d'acumulació de sediment.



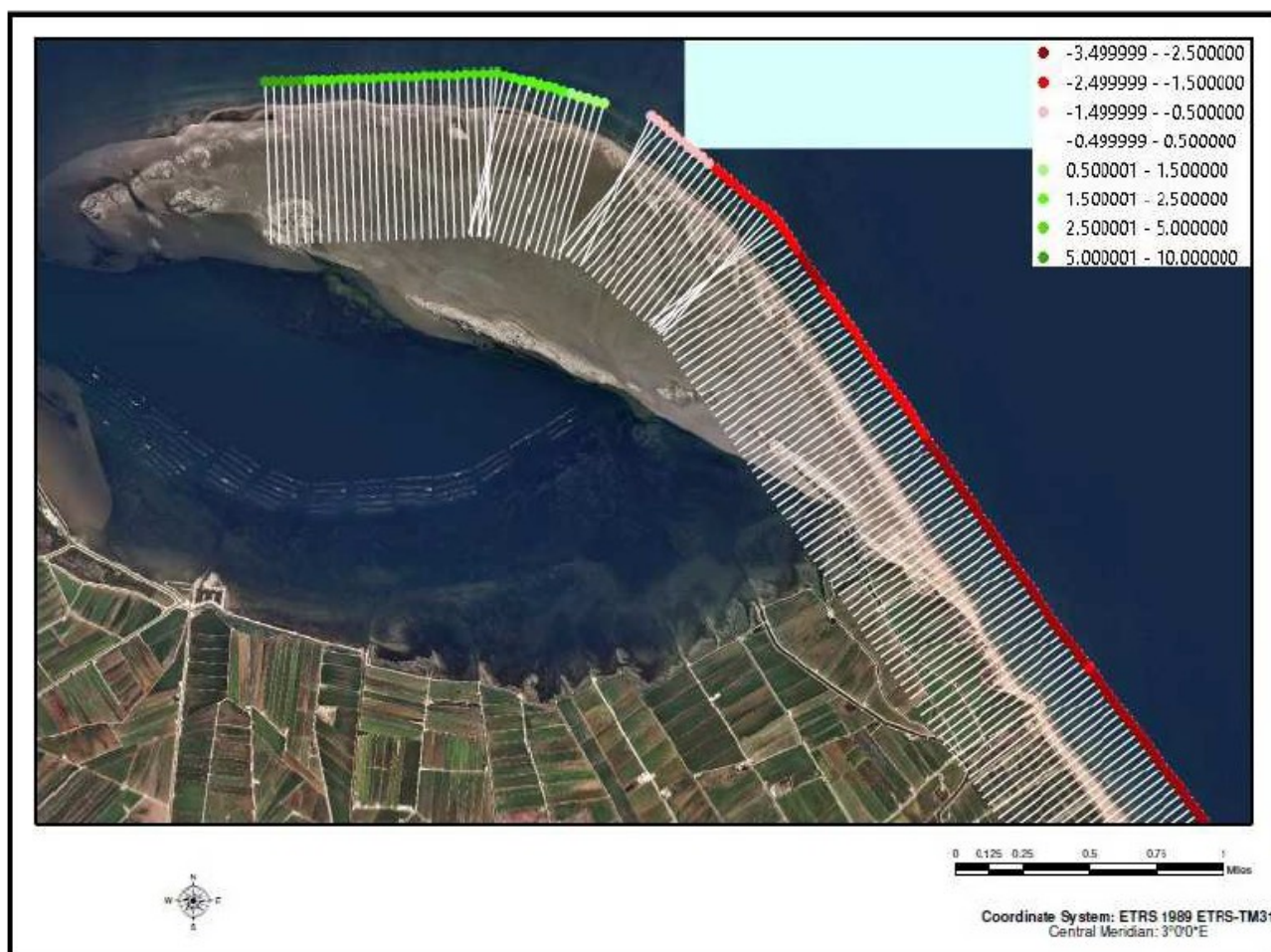
Il·lustració 9: Elements morfològics distintius de la zona del Far-Fangar.

3.1.2.1.1. Període 1956-2017

Ens referirem a la Il·lustració 10 per analitzar aquest període. Podem trobar les imatges en més qualitat al pdf *1956-2017. Far-Fangar* de l'Annex 3. Evolució de la línia de costa així com els arxius d'ArcMap.

Notem com en aquest període hi ha una tendència erosiva a gran part del front superior de la Punta del Fangar que va des de l'inici de la zona d'estudi fins a la zona que queda resguardada als voltants del far. Veiem també com les tasses són majors a la zona més exposada a l'acció del mar, al voltant dels Vascos i a mesura que la Punta del Fangar es comença a corbar cap a l'interior les tasses es redueixen fins a crear una zona de transició a l'alçada del far. Aquesta curvatura deu ser deguda a que la Punta del Fangar creix creant una línia de costa més estable en front a la direcció de l'onatge impactant.

La zona resguardada per Perelló-Mar és una zona d'acumulació i entre la zona de la punta y aquesta es concentra el creixement de la Punta del Fangar. Notem que les tasses també van augmentant amb la curvatura de la Punta del Fangar fins a arribar al seu màxim quan es gairebé perpendicular a la línia de costa de la zona dels Vascos.

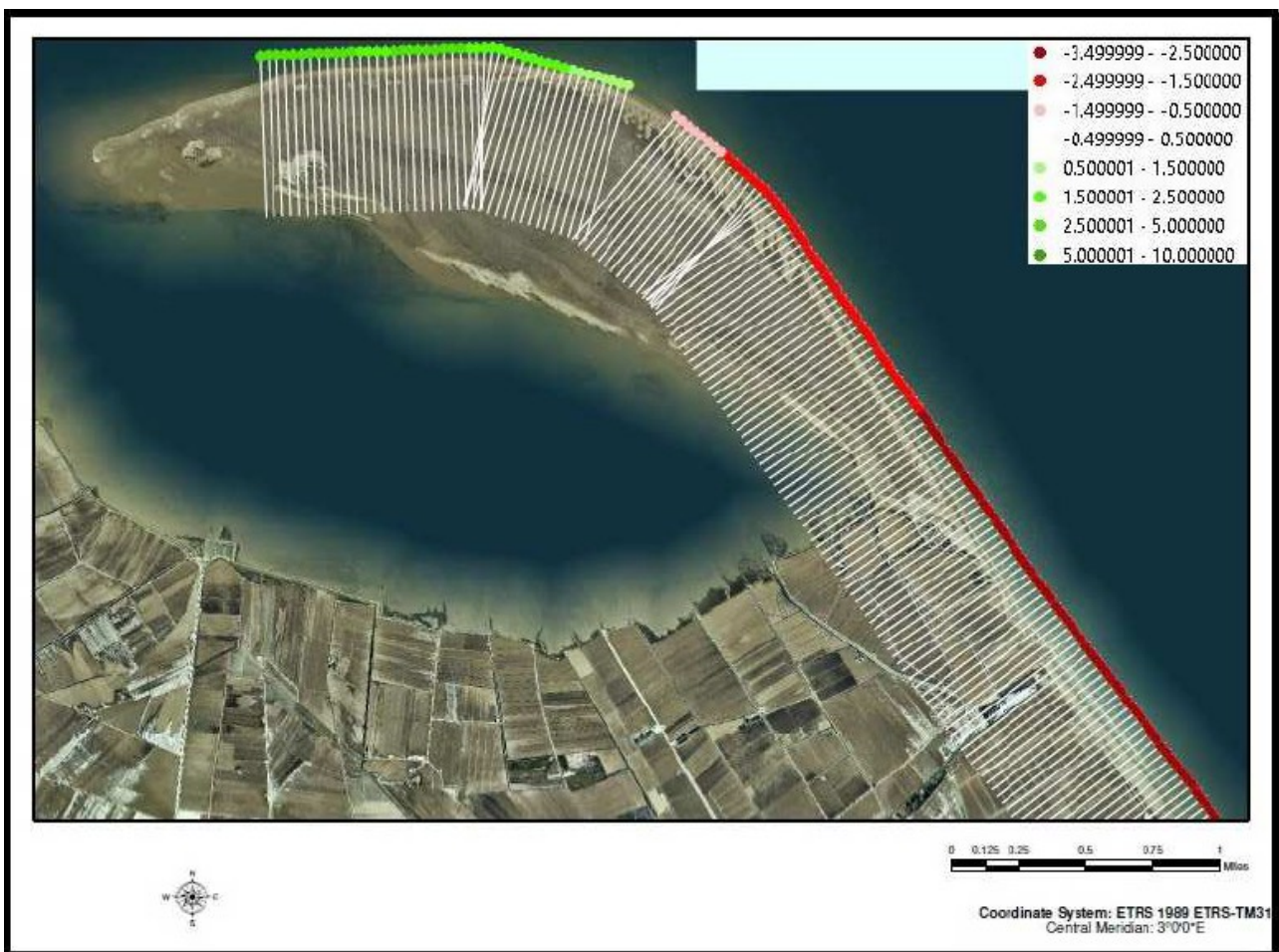


Il·lustració 10: Representació gràfica de les tasses al Far-Fangar pel període 1956-2017 sobre l'ortofotomapa de 2015.

3.1.2.1.2. Període 1956-2004

Ens referirem a la Il·lustració 11 per analitzar aquest període. Podem trobar les imatges en més qualitat al pdf 1956-2004. Far-Fangar de l'Annex 3. Evolució de la línia de costa així com els arxius d'ArcMap.

Podem veure com el comportament inicial és molt similar a la tendència del període general. Al igual que en el cas de la Platja de l'Arenal, no hi ha diferències importants entre el període general i aquest període suprimint es últims anys on podria existir acció humana. L'única diferència notòria és la tassa de la zona més propera a la punta que no presenta una tassa tan gran com al període general, té sentit ja que pot ser que aquesta zona s'estigues creant en gran part d'aquest període i hi hagi anys on ni tan sols existís.

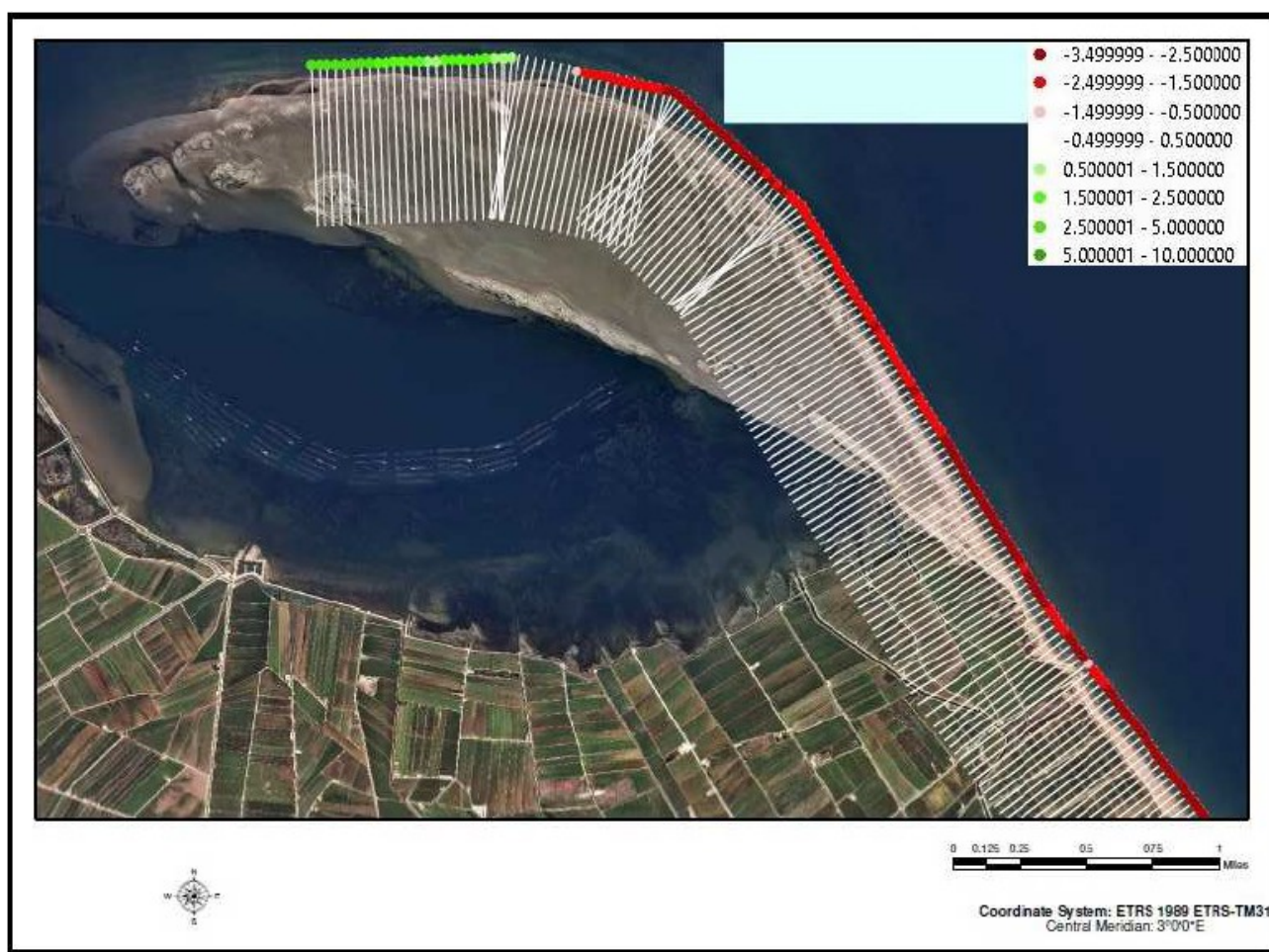


Il·lustració 11: Representació gràfica de les tasses al Far-Fangar pel període 1956-2004 sobre l'ortofotomapa de 2004.

3.1.2.1.3. Període 2004-2017

Ens referirem a la Il·lustració 12 per analitzar aquest període. Podem trobar les imatges en més qualitat al pdf 2004-20017. *Far-Fangar* de l'Annex 3. Evolució de la línia de costa així com els arxius d'ArcMap.

La zona d'acumulació és més petita amb tasses també més petites. Les tasses d'erosió també son majors que en el període general i la zona erosionada és més extensa. Notem també que no es veu una degradació de les tasses de major erosió a la zona de transició sinó que tenim unes tasses molt elevades durant tota la zona d'erosió i un canvi brusc a la transició fins a la zona d'acumulació.



Il·lustració 12: Representació gràfica de les tasses al Far-Fangar pel període 2004-2017 sobre l'ortofotomapa de 2015.

3.1.2.1.4. Període 2007-2017

Ens referirem a la Il·lustració 13 per analitzar aquest període. Podem trobar les imatges en més qualitat al pdf 2007-20017. *Far-Fangar* de l'Annex 3. Evolució de la línia de costa així com els arxius d'ArcMap.

En aquest període veiem unes tasses d'erosió molt grans en una zona molt extensa, fins i tot a zones que anteriorment eren d'acumulació. Gairebé no existeix zona d'acumulació al front superior, només veiem unes petites zones properes a la punta que presenten petites tasses d'acumulació.



Il·lustració 13: Representació gràfica de les tasses al Far-Fangar pel període 2007-2017 sobre l'ortofotomapa de 2015.

3.2. Balanç sedimentari i esquema de transport

A partir de les tasses del DSAS i utilitzant diferents hipòtesis segons a la zona de la costa que ens trobem podrem calcular el volum de sediment que es transportat a la línia de costa. En el nostre cas hem fet servir les tasses obtingudes a partir del DSAS amb el mètode LRR.

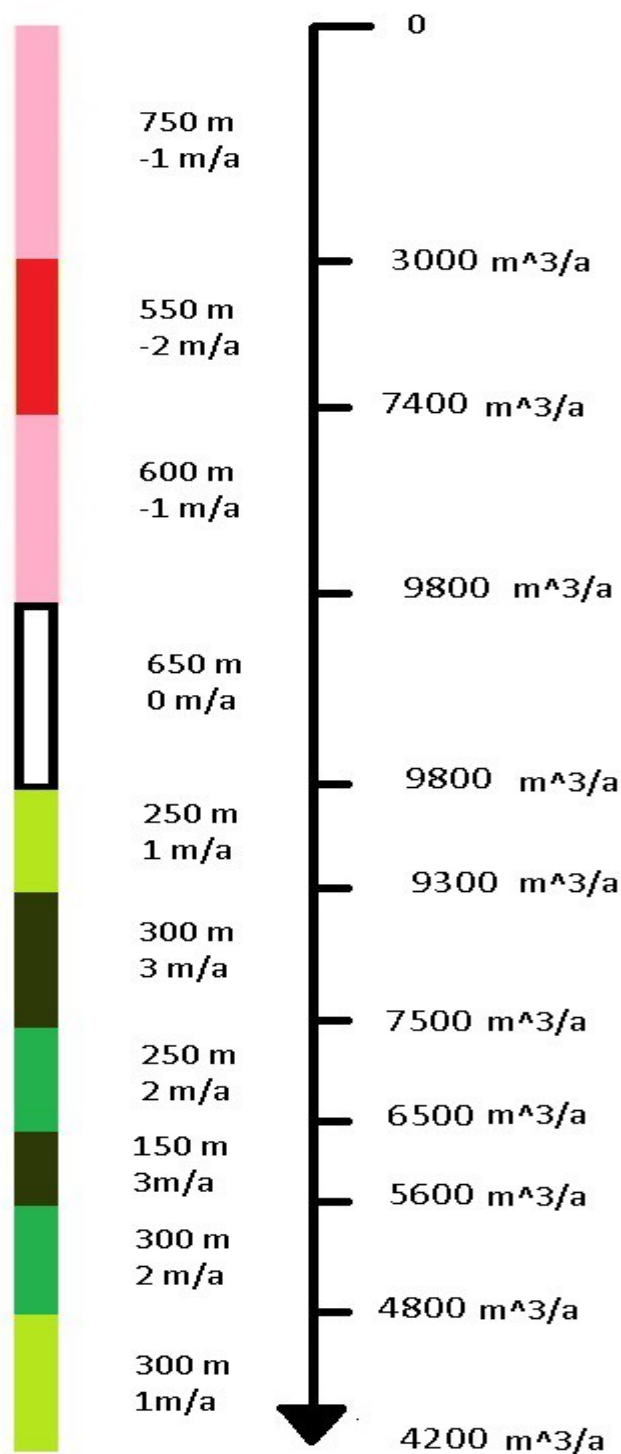
Utilitzarem la mitja de les tasses per les zones definides anteriorment a la representació gràfica per calcular el balanç sedimentari.

3.2.1. Platja de l'Arenal

Per la Platja de l'Arenal podrem calcular-ho tot amb les tasses del DSAS, ja que es tracta de un tram de costa lineal. Utilitzarem una hipòtesi pel perfil de costa que consta de un paral·lelepípede amb una profunditat de tancament de 3,5 m i una alçada mitja de la berma de 0,5 m per a la zona no resguardada i una profunditat de tancament de 1,5 m i una alçada mitja de la berma de 0,5 m per a la zona resguardada, ja que es tracta de una zona més plana.

3.2.1.1. Període 1956-2017

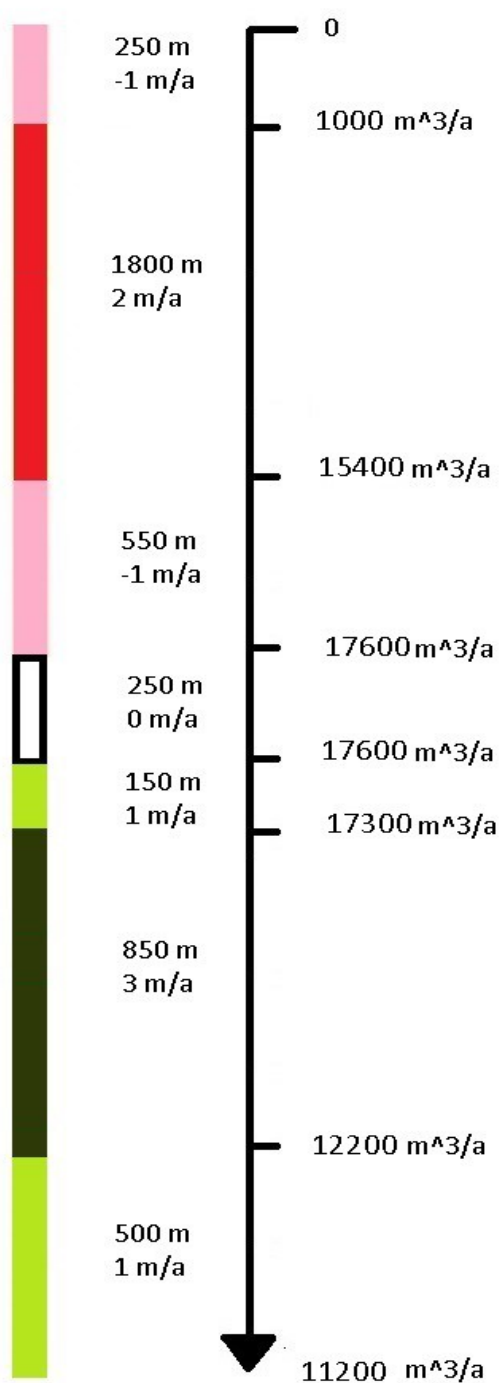
Notem que en aquest període el balanç sedimentari presenta un petit traspàs de uns quatre milers de metres cúbics any, podríem assumir que està bastant proper a una situació d'equilibri a llarg termini.



Il·lustració 14: Balanç sedimentari de la Platja de l'Arenal pel període 1956-2017,

3.2.1.2. Període 1956-2004

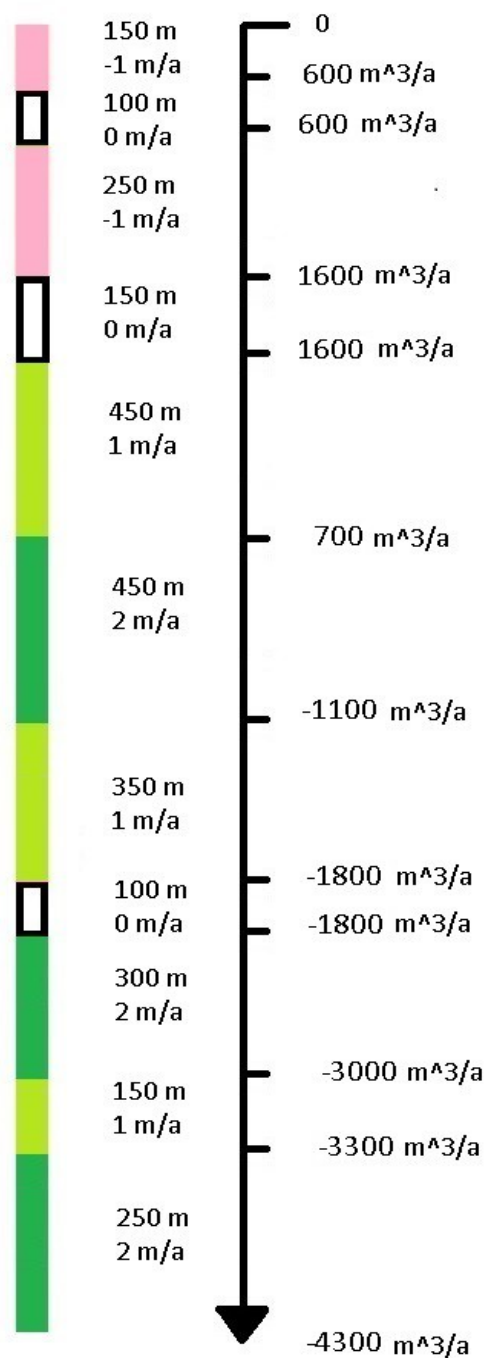
En aquest primer període les aportacions de sorra per part de l'acció humana es poden considerar nul·les, també es un període previ a la incorporació d'una escullera que protegeix el passeig marítim del municipi de l'Ampolla i que ens els primers anys tenia platja, en molts d'aquest anys el port d'Illa de Mar no s'havia encara construït i per tant no tindrem la condició de contorn del port al final del tram. El primer que notem es que s'erosiona més sediment del que s'acumula, com s'ha dit hi havia més platja i la zona erosiva era més extensa. Notem també com el sediment que arriba a la zona on es va construir el port és de l'ordre de 6000 metres cúbics al any i per tant podem assumir que al construir el port tot aquest sediment quedava atrapat pel mateix.



Il·lustració 15: Balanç sedimentari de la Platja de l'Arenal pel període de 1956-2004

3.2.1.3. Període 2004-2017

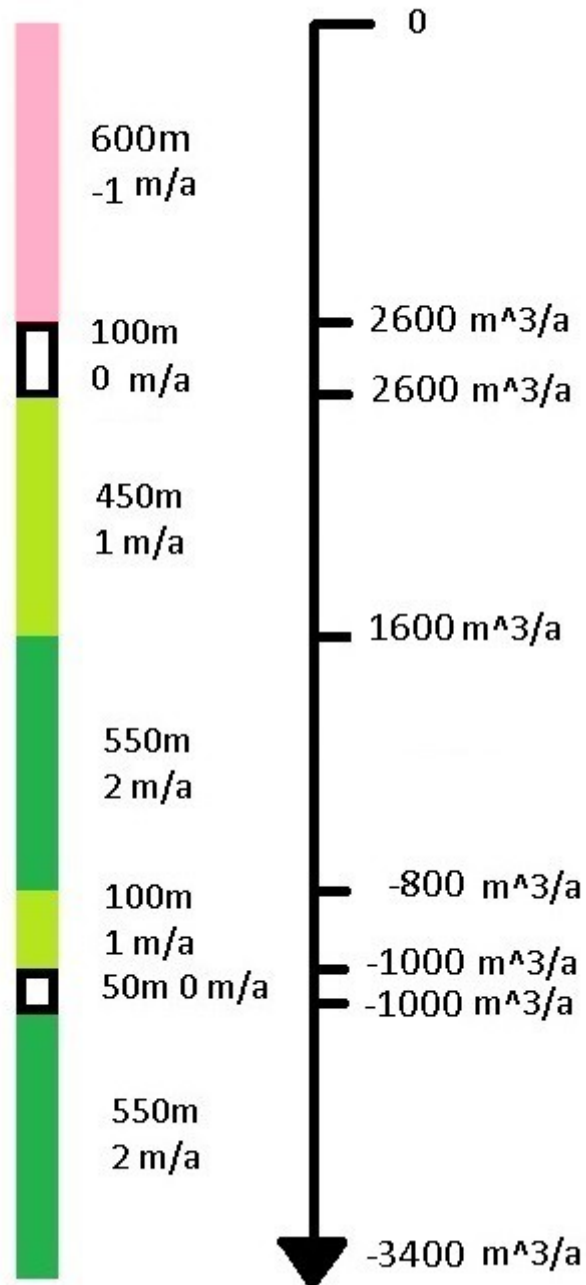
En aquest període ja existeixen les construccions de l'escullera al passeig marítim de l'Ampolla i el Port d'Illa de Mar, per tant podem assumir unes condicions de contorn 0 a tots dos extrems. Notem que la zona d'erosió és molt més reduïda i amb unes tasses molt menors però la zona d'actuació sembla més extensa tot i que també presenta tasses menors. El balanç ens dona un dèficit sedimentari del ordre de quatre mil metres cúbics per any, aquest dèficit junt amb les tasses erosives més baixes que en el període anterior ha de ser una acció humana, que és l'aportació de sediment a la Platja de l'Arenal al sud del municipi de l'Ampolla.



Il·lustració 16: Balanç sedimentari de la Platja de l'Arenal pel període 2004-2017,

3.2.1.4. Període 2007-2017

Aquest període i l'anterior són molt similars, l'única diferencia notable es l'extensió de l'area d'erosió que es més gran en aquest període.

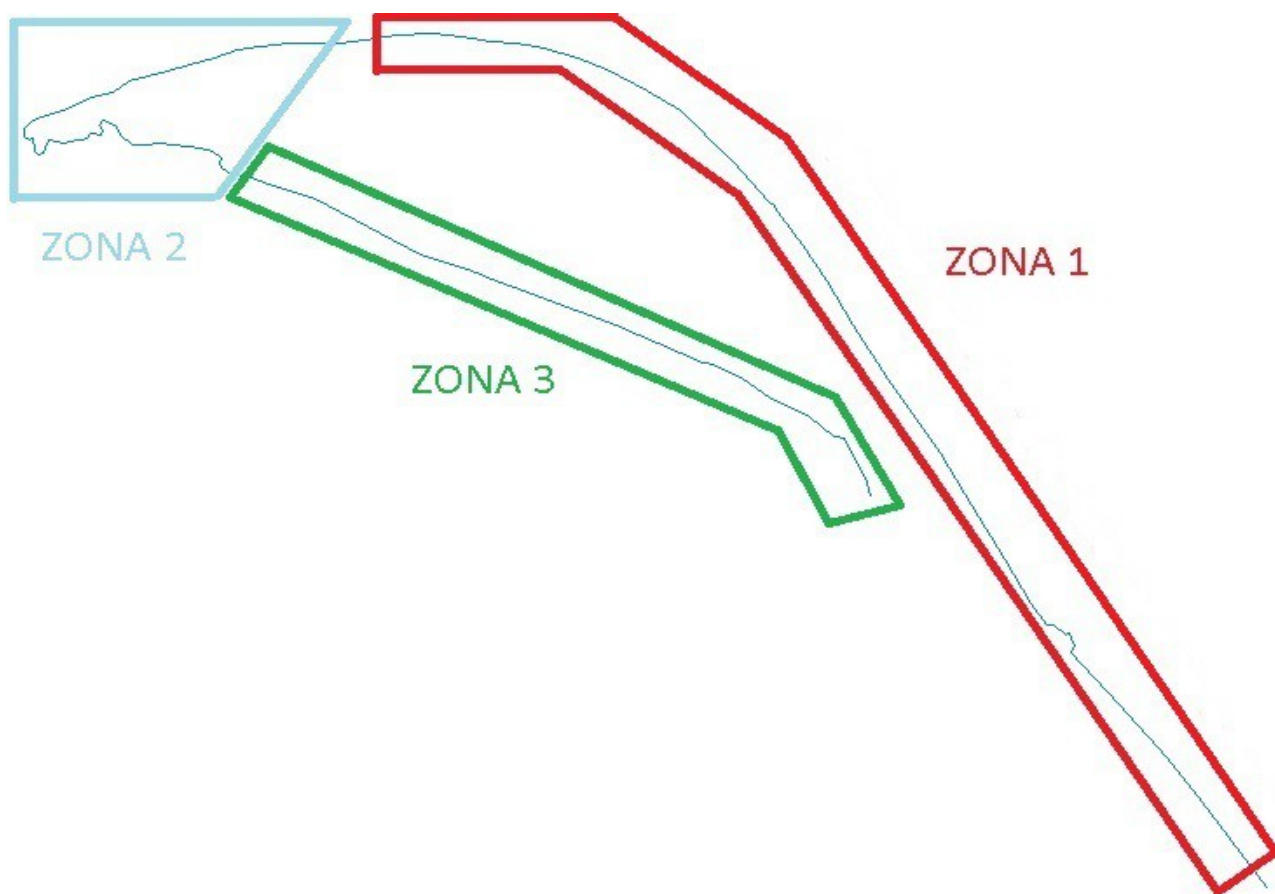


Il·lustració 17: Balanç sedimentari de la Platja de l'Arenal pel període 2007-2017,

3.2.2. Far-Fangar

Per fer el balanç sedimentari del Far-Fangar s'ha utilitzat un model de caixes dividint la línia de costa en 3 zones com es pot veure a la Il·lustració 18. Suposarem que el sediment es mou de la zona 1 a la zona 2 i 3. Ignorarem la condició de contorn a la zona 1 ja que no sabem quina quantitat de sediment arriba de la desembocadura del delta i imposarem un zero. Per últim suposarem que no hi ha sediment que sortí de la zona 3 per l'extrem inferior de la badia.

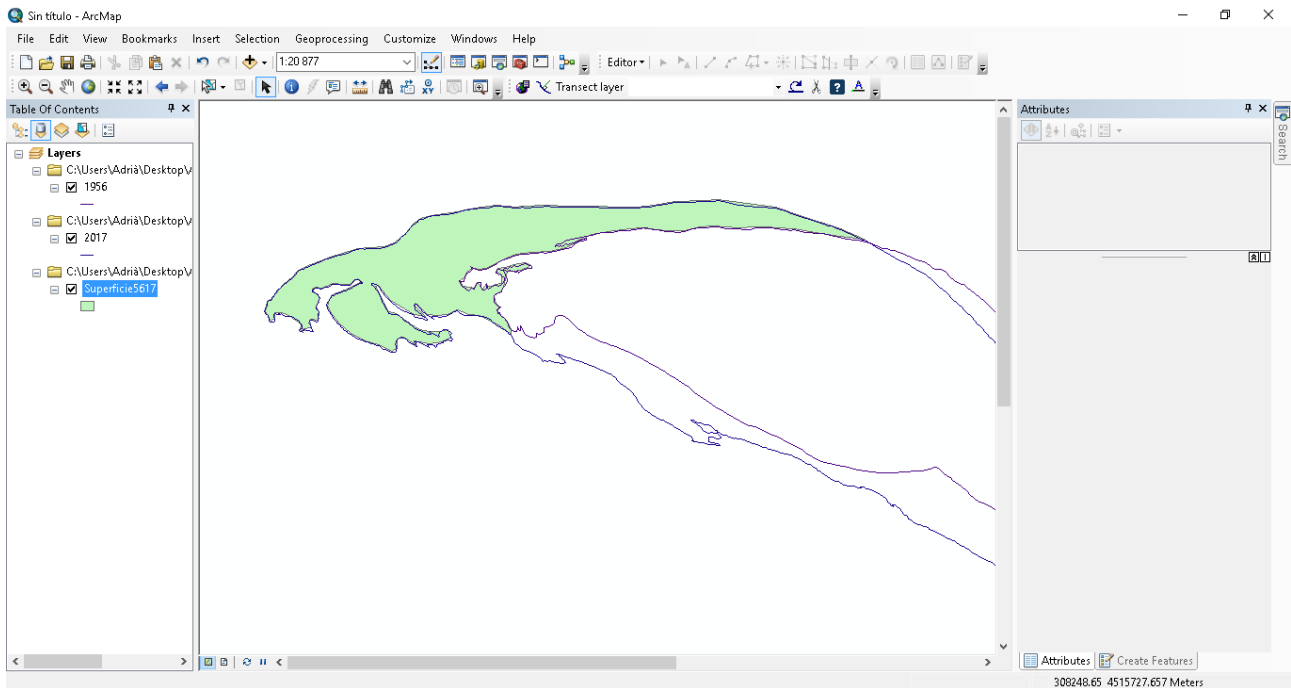
La primera zona que correspon a la part on s'ha pogut fer el diagrama de boles utilitzant les tasses del DSAS ja que es pot assumir con una línia de costa amb un transport longitudinal corrent. Les hipòtesis pels càlculs del volum de sediment han estat que el creixement del perfil de costa correspon a un paral·lelepípede i que la fondària activa i la berma mitja corresponen a un valors de 5 m de profunditat i 1,5 m d'alçada. Aquesta zona serà la zona d'erosió ja que tota la zona d'acumulació s'inclou als polígons de la zona 2.



Il·lustració 18: Model de caixes per la zona del Far-Fangar

La segona zona es tracta del extrem de la punta, aquesta zona té una morfologia molt irregular que canvia amb el temps, per aquest motiu no podem utilitzar les tasses del DSAS, ja que es fins i tot difícil definir una baseline correcta. Per al càlcul dels volums de sorra en aquesta zona s'han creat polígons, com es pot veure a la Captura 6, que comprenen tota la zona entre els anys que es comparen i trobant així l'increment en la superfície, trobem els arxius dels polígons a l'Annex 3. Evolució de la línia de costa amb el nom *Polígon.shp* a la carpeta corresponen a cada període. Per tant trobarem el volum suposant l'alçada de la columna de sediment necessària per crear aquesta superfície emergida, que correspondrà a la profunditat de tancament suposant que no hi ha canvis en la pendent de la zona de talús en aquest anys. Utilitzant la batimetria que trobem a la web de Navionics podem estimar que la profunditat de tancament es de uns quatre metres i suposarem una

berma activa de mig metre, ja que com s'ha mencionat anteriorment és una zona molt plana.

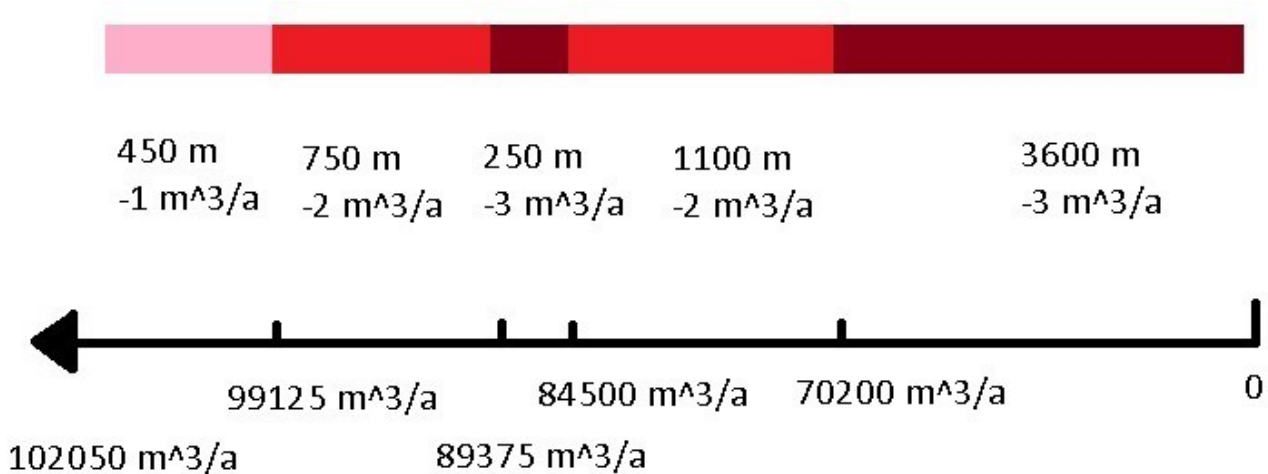


Captura 6: Finestra d'ArcMap amb les línies de costa de 1956 i 2017 mostrant el polígon resultant entre ambdues.

La tercera zona és la més interna de totes, com s'ha mencionat prèviament a l'apartat 2.1.3. Visita de camp es tracta de una zona molt plana i fàcilment influenciada pel nivell del mar i per tant el moment en que es va realitzar el vol es clau en la morfologia costera, per tant no s'han pogut comparar polígons ni utilitzar el DSAS en aquest tram, ja que no podem definir de cap manera una línia de costa amb un mínim de fiabilitat, podem observar a simple vista comparant ortofotomapes que és una zona de creixement i per tant segurament rep el sediment de la zona de la punta o per transport aeri de la zona erosiva que està en front el mar.

3.2.2.1. Període 1956-2017

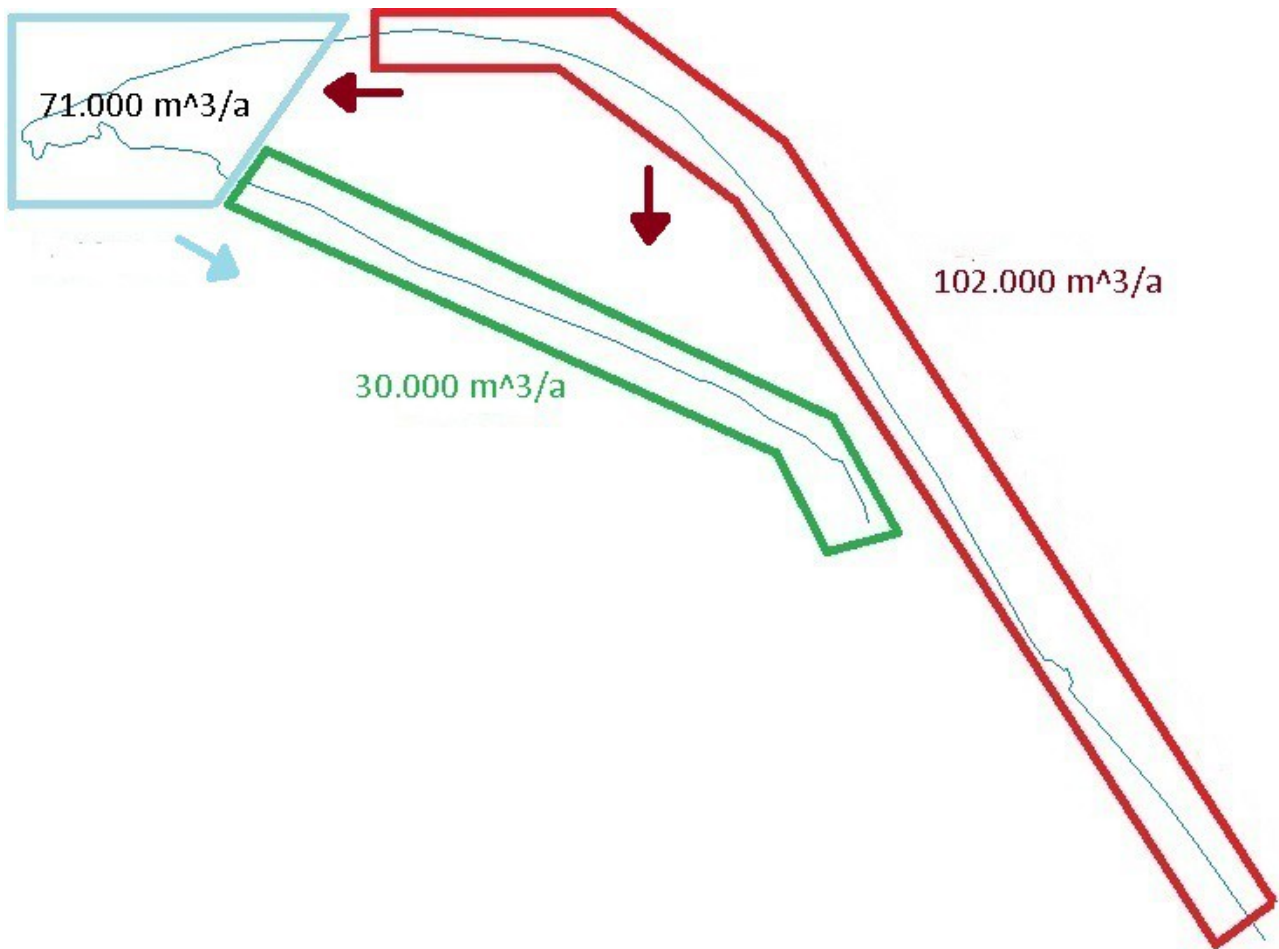
A la Il·lustració 19 podem veure el balanç sedimentari d'aquest període a la zona d'erosió. Veiem que l'ordre de magnitud de l'erosió es de uns $100.000 \frac{m^3}{a}$.



Il·lustració 19: Balanç sedimentari a la Zona 1 del Far-Fangar pel període de 1956-2017.

A la Captura 6 que s'ha vist anteriorment es mostra el polígon de la superfície emergida creada entre l'any inicial i l'any final d'aquest període. A partir de la superfície d'aquest polígon obtenim un increment de volum de $4.320.000 m^3$ que suposa una taxa de uns $71.000 \frac{m^3}{a}$. Per tant a la

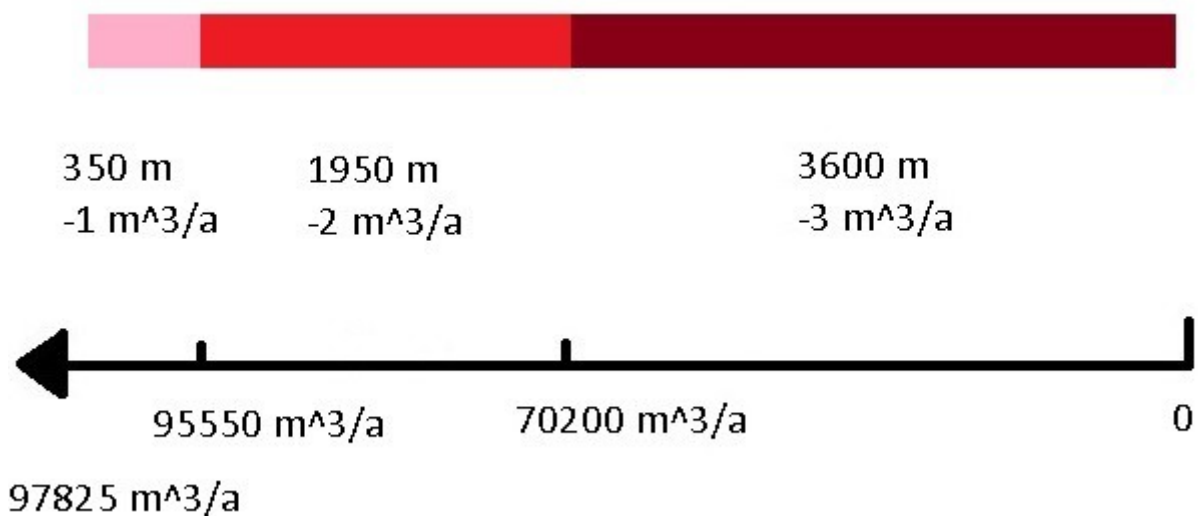
Zona 3 existeix el potencial de que hi arribin uns $30.000 \frac{m^3}{a}$ del material erosionat a la Zona 1. A la Il·lustració 20 podem veure el model de caixes resultant suposant que el material erosionat a la Zona 1 que no queda retintut a la Zona 2 va íntegrament a la Zona 3.



Il·lustració 20: Model de caixes pel període 1956-2017.

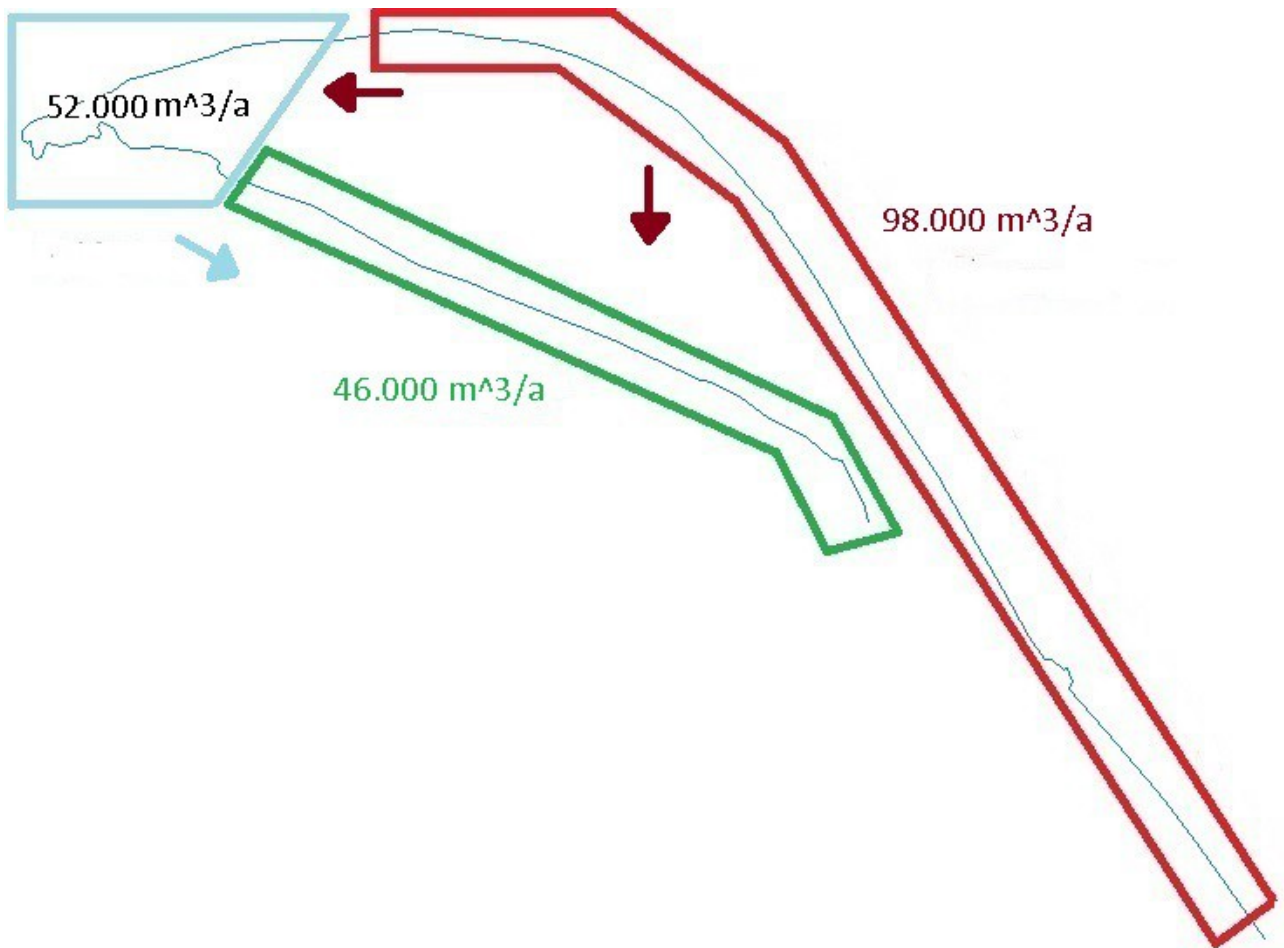
3.2.2.2. Període 1956-2004

A la Il·lustració 21 podem veure el balanç sedimentari d'aquest període a la zona d'erosió. En aquest període tenim també una erosió del ordre de $100.000 \frac{m^3}{a}$.



Il·lustració 21: Balanç sedimentari a la Zona 1 del Far-Fangar pel període de 1956-2004.

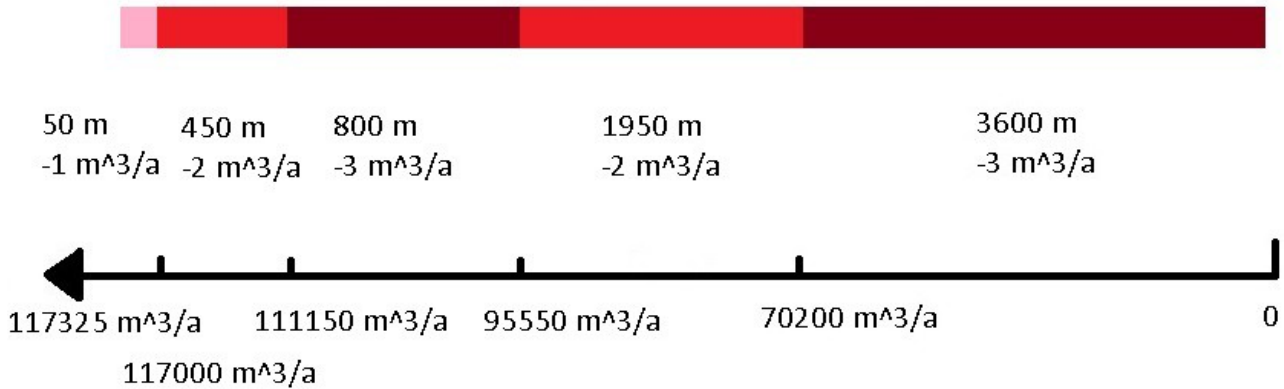
A la Zona 2 a partir del polígon d'aquest període obtenim un increment del volum de sediment de $2.511.000 m^3$ que suposa una taxa de uns $52.000 \frac{m^3}{a}$ i per tant hi ha un potencial de que arribi un sediment anual de uns $46.000 \frac{m^3}{a}$ a la Zona 3. Per tant podem definir el model de caixes tal i com es veu a la Il·lustració 22.



Il·lustració 22: Model de caixes pel període 1956-2004.

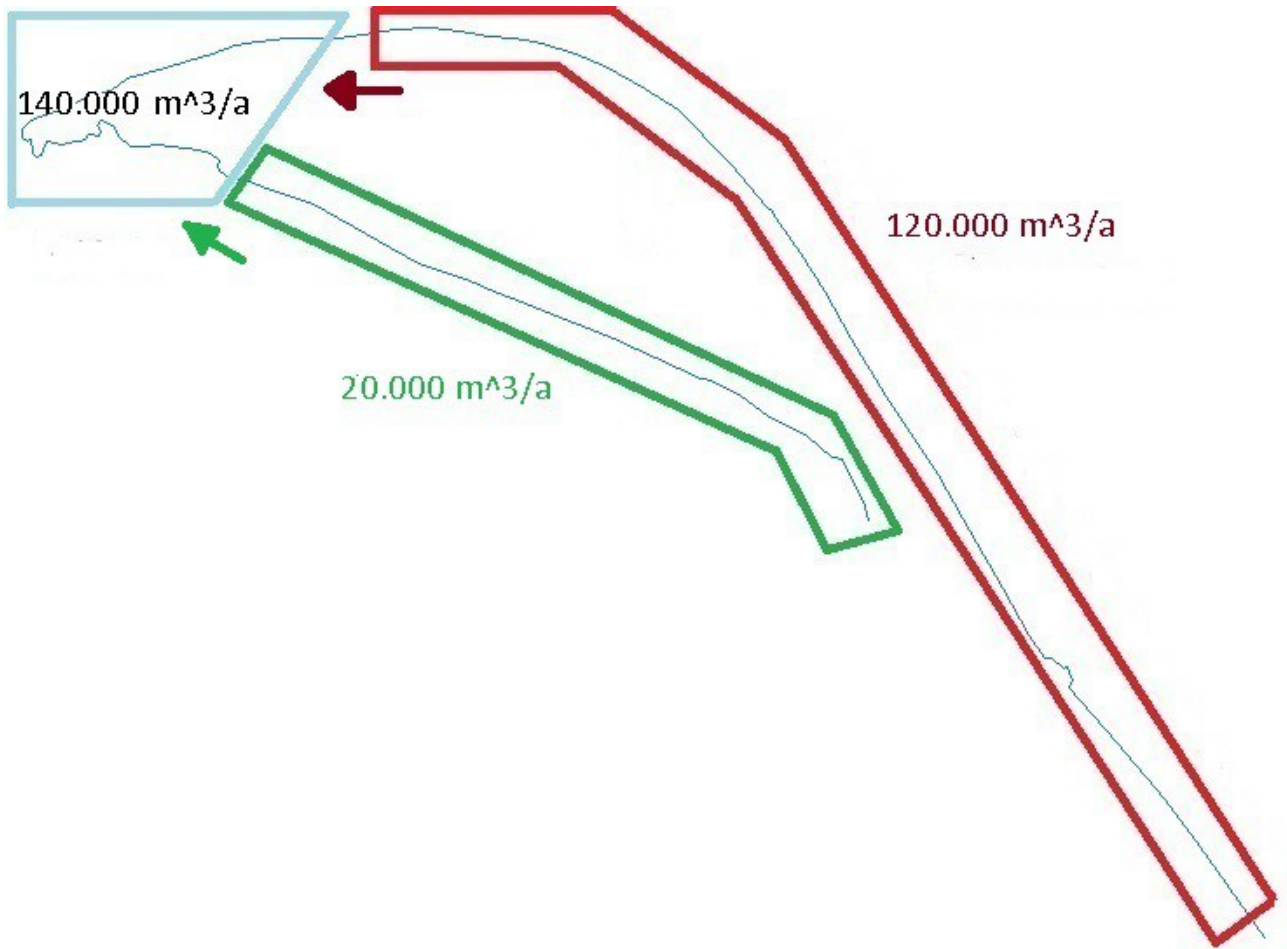
3.2.2.3. Període 2004-2017

A la Il·lustració 23 podem veure el balanç sedimentari d'aquest període a la zona d'erosió. En aquest període hi ha un increment en la quantitat de sediment erosionada comparada amb períodes anteriors.



Il·lustració 23: Balanç sedimentari a la Zona 1 del Far-Fangar pel període de 2004-2017.

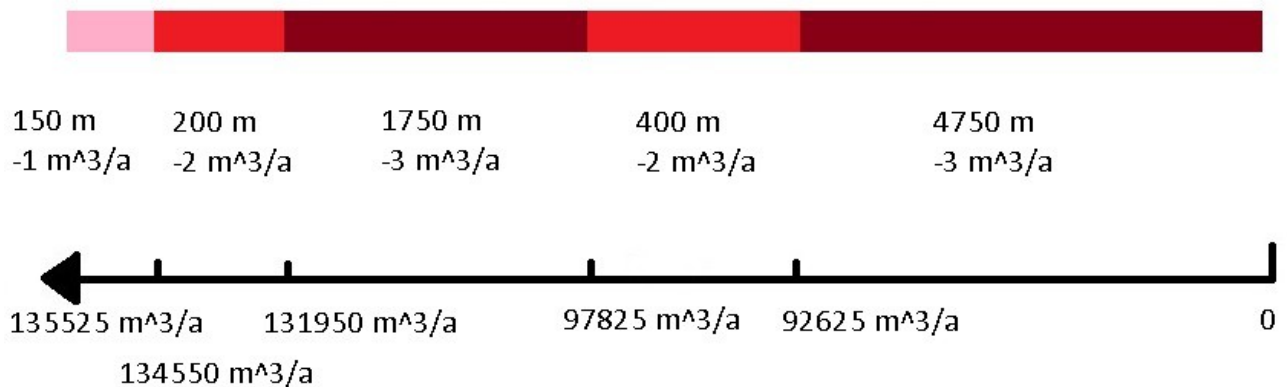
En aquest període la Zona 2 té un increment del volum sedimentari de $1.827.000 m^3$ que resulta en una taxa de uns $140.000 \frac{m^3}{a}$ cosa que deixa la Zona 3 sense cap aportació de sediment i un dèficit de uns $20.000 \frac{m^3}{a}$ pel creixement obtingut a la Zona 2. Suposarem que aquest dèficit és equilibrat per la Zona 3 i el model de caixes resultant es pot veure a la Il·lustració 24.



Il·lustració 24: Model de caixes pel període de 2004-2017.

3.2.2.4. Període 2007-2017

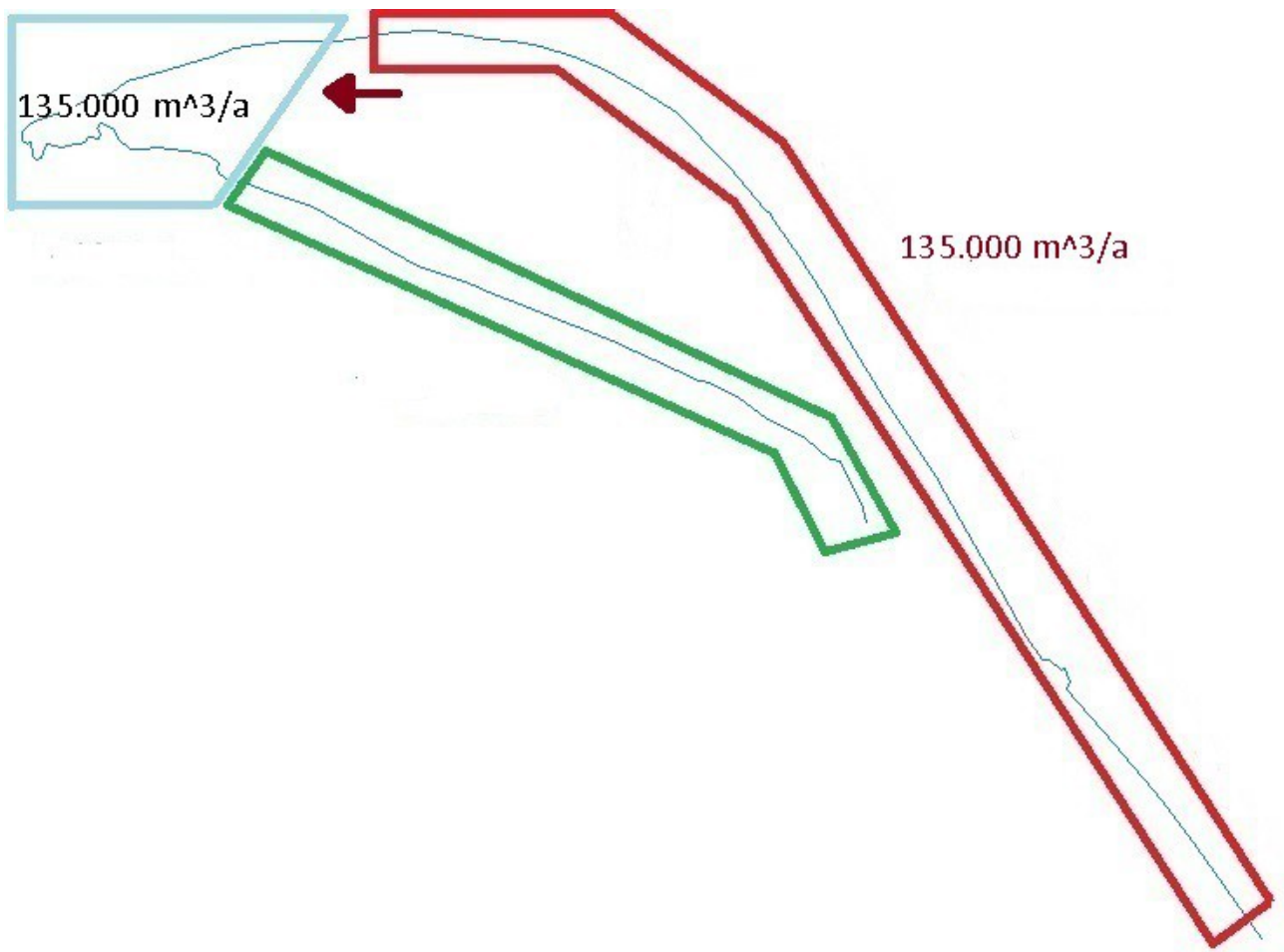
A la Il·lustració 25 podem veure el balanç sedimentari d'aquest període a la zona d'erosió. Notem que en aquest període la quantitat de sediment erosionada és major que als altres períodes.



Il·lustració 25: Balanç sedimentari a la Zona 1 del Far-Fangar pel període de 2007-2017.

El volum de sorra acumulada a la Zona 2 és de $1.350.000 m^3$ el que implica una taxa de uns $135.000 \frac{m^3}{a}$ que és exactament el sediment erosionat a la Zona 1. Per tant suposant que a la Zona

3 només arriba sediment de les altres dues zones, la Zona 3 està en equilibri. A la Il·lustració 26 podem veure el model de caixes resultant.



Il·lustració 26: Model de caixes pel període de 2007-2017.

3.3. Episodis d'alta energia i nivell del mar

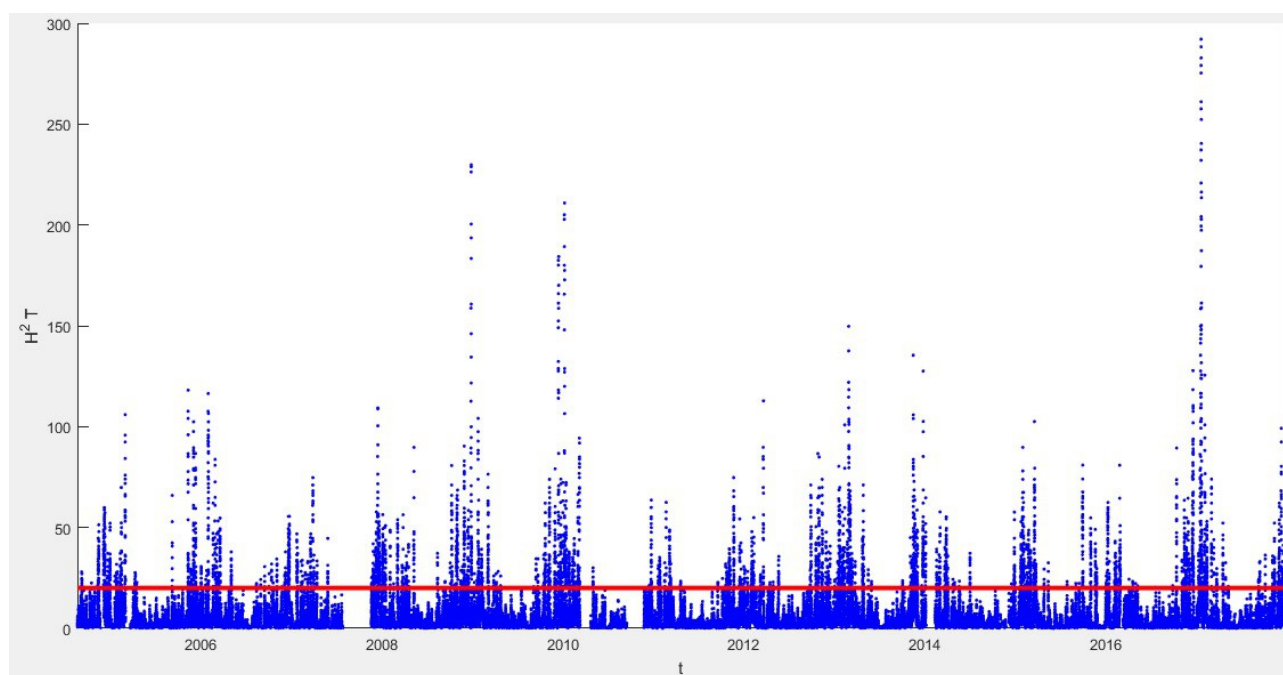
En aquest apartat analitzarem les dades d'onatge processades anteriorment amb Matlab per intentar detectar episodis d'alta energia relacionats amb tempestes i veure si hi ha una tendència d'increment al nivell del mar.

Això ens permetrà detectar anys amb molts episodis d'alta energia i intentar veure si l'evolució de la línia de costa s'ha vist afectada pels mateixos.

3.3.1. Episodis d'alta energia

Segons la ROM 0.3-91 les condicions de tempesta es donen amb unes condicions d'alçada d'ona de $H \geq 2m$, per aquesta alçada d'ona el període associat a ella en el Mediterrani sol ser de un valor de $T=5s$ per tant establim un threshold de $H^2 \cdot T = 40$, a partir de un script de Matlab que veiem a l'Annex 4. Dades d'onatge amb el nom de *AltaEnergia.m*, podrem obtenir una matriu amb les dates durant les quals s'ha superat aquest valor, les quals trobem al mateix annex al pdf *Dates d'alta energia*.

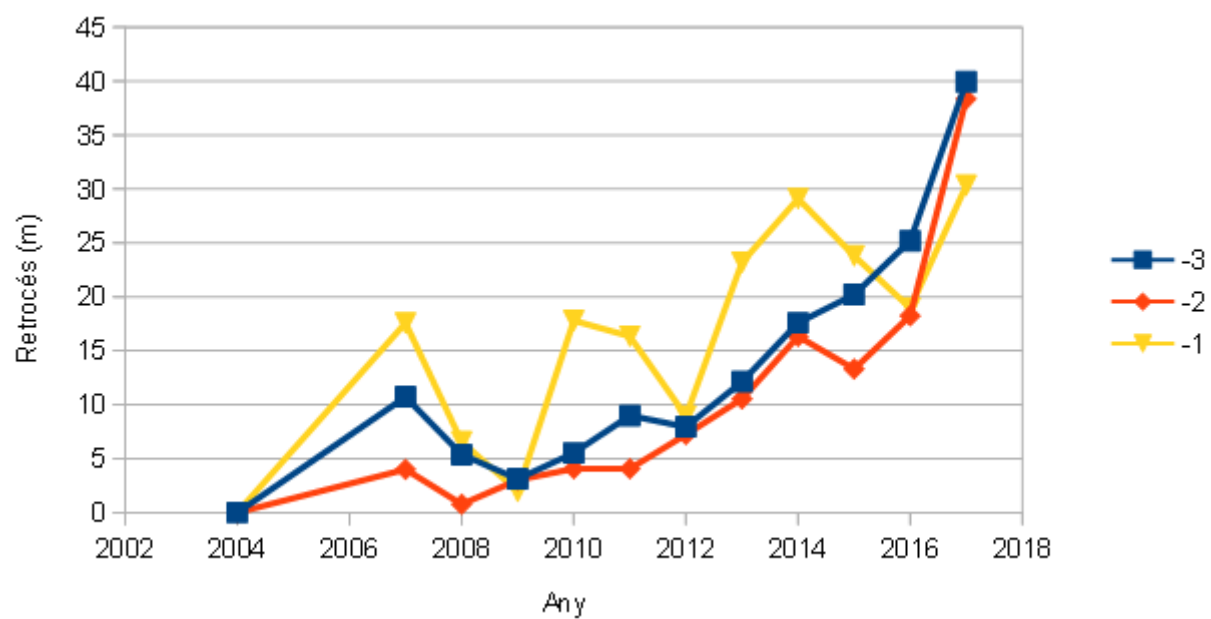
A la Il·lustració 27 podem veure una representació gràfica de les dades del mareògraf amb una recta que representa el valor assignat al nostre threshold.



Il·lustració 27: Representació gràfica de les dades del mareògraf. La línia vermella representa el threshold a partir del qual considerem alta energia.

Podem distingir tres períodes amb molts episodis d'alta energia intensos: 2009-2010, 2012-2014 i 2016-2017. A la Il·lustració 28 podem veure el desplaçament mitjà dels transsectes de la zona de retrocés del Far-Fangar, s'han utilitzat el desplaçament mig per any de les zones definides per les tasses del període 1956-2017. Notem com durant els períodes amb un gran nombre d'episodis d'alta energia que s'han comentat anteriorment hi ha un retrocés major que en els anys de menor intensitat. Per tant podem veure com les condicions d'onatge són l'element principal del canvis morfològics de la Punta del Fangar, tot i que quedaria analitzar com afecta la direcció d'onatge i altres factors per

intentar fer un model acurat del comportament de la Punta.



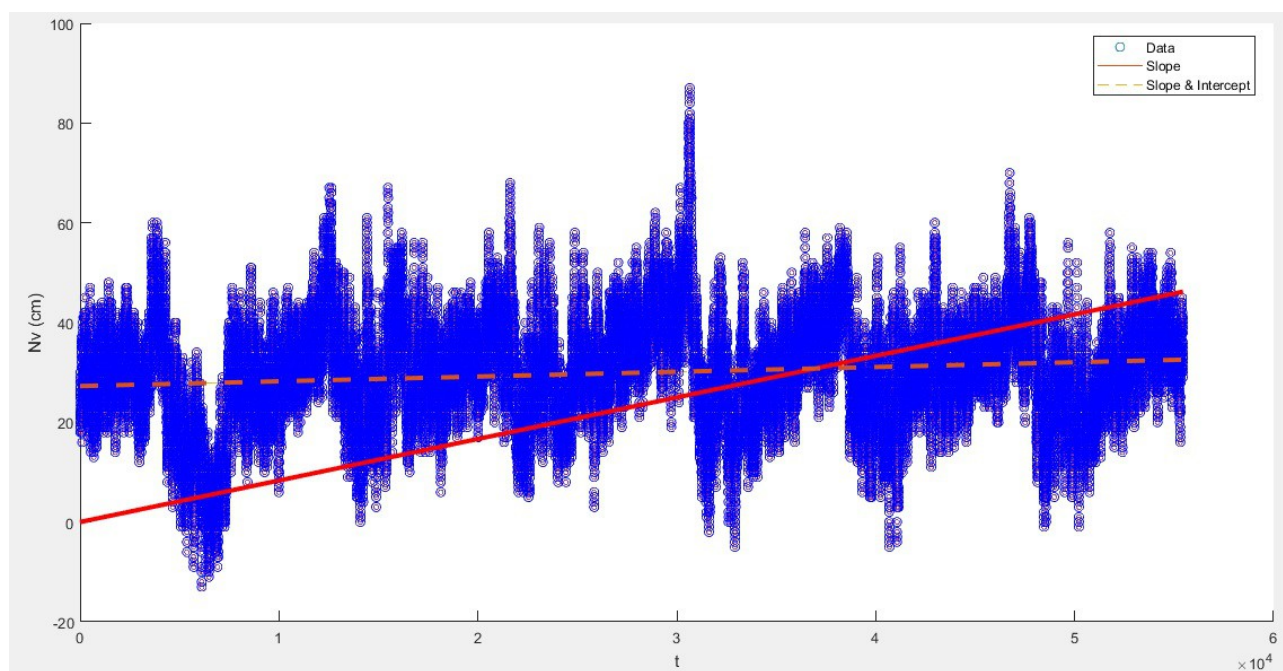
Il·lustració 28: Representació gràfica dels desplaçaments dels transsectes de la zona de retrocés del Far-Fangar.

3.3.2. Nivell del mar

Analizarem el comportament del nivell del mar ajustant una regressió lineal a les dades obtingudes del mareògraf i intentarem veure si hi ha un augment del mateix. Per fer-ho hem creat un script de Matlab, el codi del qual podem veure a l'Annex 4. Dades d'onatge amb el nom de *Regressio.m*.

A partir dels obtinguts per l'script notem que la millor aproximació la obtenim amb b, ja que obtenim una millor r^2 , els resultats són els següents: $Rsq1 = -1.5271$, $Rsq2 = 0.0194$, notem que el primer no té cap sentit. Amb aquest valor de b ens queda una expressió per la nostra regressió lineal tal com: $y = 27.2662 + 0.0001x$, on y és el nivell del mar en cm i x el temps en hores. Podem veure com aparentment el nivell del mar sembla augmentar, tot i que pot ser que es tracti de un harmònic molt ampli, el més probable és que es tracti de una acció del canvi climàtic.

Podem veure una representació gràfica de les dades del mareògraf i les dues rectes a la Il·lustració 29, es pot veure clarament com la regressió que s'ajusta millor és la mencionada anteriorment. Notem que hi ha una dispersió molt gran i com ja em vist prèviament amb r^2 l'ajust no és molt bo.



Il·lustració 29: Plot de les rectes de regressió lineal sobre les dades del mareògraf.

4. CONCLUSIONS

Amb aquest treball queda recopilada tota la informació necessària per realitzar estudis posteriors sobre la Punta del Fangar que permetin crear un model per entendre el comportament de la dinàmica costera i el elements que provoquen els moviments de la Punta del Fangar.

La digitalització de la línia de costa s'espera que sigui d'interès no només en treballs posteriors sinó també des de un punt de vista d'arxiu històric que permet comparar ràpidament l'evolució de la Punta del Fangar en els últims anys. També s'espera que es pugui fer servir de referència per futures alimentacions a la zona de la Platja de l'Arenal i que permetin que aquestes siguin més eficients.

El treball amb les dades d'onatge servira per qualsevol estudi a la zona que requereixi les dades de les condicions d'onatge proporcionades pel mareògraf i les boies de Tarragona en els últims anys i crea una ràpida referència quan sigui necessària la informació sobre les tempestes a la zona de Tarragona.

Les tasses calculades a l'apartat de l'evolució de la línia de costa i els balanç sedimentaris ens permeten fer-nos una idea de com evoluciona la Punta del Fangar i la badia interior, cosa que permetrà intentar buscar un model que s'ajusti al comportament vist en aquest treball. Aquestes tasses es poden utilitzar en estudis ambientals de la zona, o en posteriors investigacions per intentar controlar el creixement de la Punta del Fangar per reduir la mortaldat del cultiu de bivalves de l'àrea.

S'ha vist una relació entre les condicions d'onatge i els moviments de la Punta del Fangar a partir de l'anàlisi dels episodis d'alta energia i el desplaçament de la línia de costa. Analitzant amb més detall aquest períodes es podria intentar emular les condicions d'onatge a un model reduït per intentar predir el comportament de la línia de costa en diferents condicions de canvi climàtic.

5. BIBLIOGRAFIA

Bibliografia:

- Ministerio de Obras Públicas y Transportes (1991): Recomendaciones para obras marítimas. ROM 0.3-91 Oleaje Anejo I. Clima Marítimo en el Litoral Español
- Dean, R.C.; Dalrymple, R.A. (1991): Water wave mechanics for engineers and scientists. World Scientific. ISBN 9810204205.
- Dean, R.G.; Dalrymple, R.A. (2002): Coastal processes: with engineering applications. Cambridge University Press. ISBN 0521495350.
- Komar, P.D (1998): Beach processes and sedimentation. Prentice Hall. Upper Saddle River, N.J. ISBN 0137549385.
- Young, I.R. (1999): Wind generated ocean waves. Elsevier. ISBN 0080433170.
- US Army Corps of Engineers (2000): Coastal Engineering Manual (CEM).

Pàgines web:

- Vissir ICGC: <<http://www.icc.cat/vissir3/>>
- Puertos del Estado: <<http://www.puertos.es/es-es>>
- Ajuda Matlab: <<https://es.mathworks.com/help/>>
- Ajuda ArcGis: <<http://resources.arcgis.com/es/help/>>
- Navionics: <<https://www.navionics.com/esp/>>
- Guía de playas: <<http://www.mapama.gob.es/es/costas/servicios/guia-playas/>>
- Llibre verd de l'Estat de la zona costanera a Catalunya, 2010:
<<http://www.icgc.cat/ca/Administracio-i-empresa/Serveis/Riscos-geologics-i-geotecnia/Dinamica-de-la-costa/Llibre-verd-de-l-Estat-de-la-zona-costanera-a-Catalunya-2010>>
- DSAS: <<https://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/DSAS/>>

